

---

# Realidad aumentada para el Museo de América

---



Trabajo de Fin de Grado en Ingeniería Informática

Marta Caro Martínez  
David Hernando Hernández

*Profesor director:* Dr. Guillermo Jiménez Díaz

Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial  
Facultad de Informática  
Universidad Complutense de Madrid

Junio 2015  
*Curso académico:* 2014/2015

Documento maquetado con T<sub>E</sub>X<sub>S</sub> v.1.0+.

Este documento está preparado para ser imprimido a doble cara.



# Realidad aumentada para el Museo de América

*Trabajo de Fin de Grado en Ingeniería Informática*

**Marta Caro Martínez**  
**David Hernando Hernández**

*Profesor director: Dr. Guillermo Jiménez Díaz*

**Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia  
Artificial**

**Facultad de Informática**  
**Universidad Complutense de Madrid**

**Junio 2015**  
*Curso académico: 2014/2015*

Copyright ©

*Contenido:* **Marta Caro Martínez y David Hernando Hernández;**  
*Plantilla  $\LaTeX$ :* **Marco Antonio y Pedro Pablo Gómez Martín**

*A todos nuestros familiares,  
que siempre nos han estado dando apoyo  
durante la realización de este proyecto.*



# Autorización

Nosotros, David Hernando Hernández y Marta Caro Martínez, alumnos matriculados en la asignatura Trabajo de Fin de Grado (TFG) en la Facultad de Informática de la Universidad Complutense de Madrid durante el curso 2014/2015, dirigidos por Guillermo Jiménez Díaz, autorizamos la difusión y utilización con fines académicos, no comerciales, y mencionando expresamente a sus autores del contenido de esta memoria, el código, la documentación adicional y el prototipo desarrollado.

*David Hernando Hernández y Marta Caro Martínez*



# Agradecimientos

En primer lugar, quisiéramos agradecer a Andrés Gutiérrez y Beatriz Robledo, del Museo de América, su ayuda en el desarrollo de los contenidos de la aplicación. Igualmente agradecer a Samuel C. Palafox y a Juan Francisco Román su trabajo en el arte 3D y 2D, respectivamente, de la aplicación, a Lara Fernández por la traducción a inglés de todos los contenidos y a Joaquín Otero y Gonzalo Cases, por proporcionarnos las imágenes de las piezas.

Mencionar también a todas las personas que han evaluado RACMA y han dedicado una parte de su tiempo a valorarla y probarla, especialmente a nuestras familias y amigos.

Y sobretodo, quisiéramos dar las gracias a nuestro director de Trabajo de Fin de Grado, Guillermo Jiménez, por permitirnos trabajar en este proyecto, que tanto hemos disfrutado, y ayudarnos y guiarnos en este último año de carrera, tanto en el TFG como en cualquier otra asunto en el que le hemos necesitado.





# Resumen

La Realidad Aumentada es una tecnología que permite aumentar el mundo real que percibimos con elementos virtuales interactivos. En esta memoria describimos el uso de esta tecnología para crear personajes que dan vida a un mapa mudo que está dentro del Museo de América de Madrid y proporcionan información sobre las culturas presentes en el museo. Veremos de una manera detallada cómo ha sido el proceso evolutivo desde la idea inicial, para luego plasmarla en papel y finalmente llegar a una aplicación real. RACMA es el nombre de la aplicación, y está disponible en Play Store para que cualquiera que visite el museo pueda descargarla y usarla.

**Palabras clave:** Realidad Aumentada, Museos, Unity3D, Vuforia, Android

# Abstract

Augmented Reality is a technology which allows to increase the real world that we sense with interactive virtual elements. In this report, we describe the use of this technology for creating characters that give life to a blank map at Museo of America in Madrid and for providing information about the present cultures in the museum. We show in detail how the evolutive process was, from the initial ideas captured in paper until the final application. RACMA is the name of the application and it is available at Google Play Store so that everyone who visits the museum can download it and use it.

**Keywords:** Augmented Reality, Museums, Unity3D, Vuforia, Android



# Índice

<b>Autorización</b>	<b>VII</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>IX</b>
<b>Resumen</b>	<b>XI</b>
<b>I Memoria</b>	<b>1</b>
<b>1. Introducción a RACMA</b>	<b>3</b>
1.1. Introducción . . . . .	3
1.1.1. Antecedentes . . . . .	3
1.1.2. Objetivos y motivación . . . . .	4
1.1.3. Plan de trabajo y organización de la memoria . . . . .	5
1.2. Introduction . . . . .	6
1.2.1. Previous Work . . . . .	6
1.2.2. Goals and motivation . . . . .	6
1.2.3. Workplan and report organization . . . . .	7
<b>2. Realidad aumentada y su aplicación en museos</b>	<b>9</b>
2.1. Introducción y contexto de la realidad aumentada . . . . .	10
2.2. Concepto de realidad aumentada . . . . .	12
2.3. Tecnologías necesarias para la ejecución de realidad aumentada	13
2.4. Tipos de marcadores para realidad aumentada . . . . .	14
2.5. Importancia y ventajas generales de la realidad aumentada . .	15
2.6. Importancia y ventajas de la realidad aumentada en museos .	19
2.7. Ejemplos de RA en museos . . . . .	20
2.8. Conclusiones . . . . .	22
<b>3. Tecnologías para el desarrollo de aplicaciones de Realidad Aumentada</b>	<b>25</b>
3.1. Tecnologías disponibles para el desarrollo de realidad aumentada	25

3.2. Tecnología de realidad aumentada: Qualcomm Vuforia . . . . .	28
3.2.1. ¿En qué consiste Vuforia? . . . . .	28
3.2.2. Problemas con la documentación de Vuforia . . . . .	31
3.2.3. Restricciones de la tecnología . . . . .	32
3.3. Primer contacto y pruebas con Unity y Vuforia . . . . .	34
<b>4. Diseño iterativo de la aplicación . . . . .</b>	<b>43</b>
4.1. Contexto . . . . .	44
4.2. Terminal de desarrollo . . . . .	46
4.3. Primera iteración: prototipos iniciales . . . . .	46
4.4. Segunda iteración . . . . .	49
4.4.1. Alternativas de colocación de los marcadores sobre el mapa . . . . .	50
4.4.2. Estudio de la competencia . . . . .	51
4.4.3. Diseño paralelo de prototipos en papel . . . . .	54
4.5. Tercera iteración . . . . .	64
4.5.1. Prototipo basado en menú de botones . . . . .	66
4.5.2. Prototipo basado en un menú desplegable . . . . .	68
4.6. Cuarta iteración . . . . .	71
4.7. Quinta iteración . . . . .	74
4.7.1. Pruebas iniciales de toma de contacto . . . . .	76
4.7.2. Pruebas en el mapa del museo . . . . .	76
4.8. Sexta iteración . . . . .	81
4.9. Séptima iteración . . . . .	85
4.10. Últimas iteraciones y versión final: inclusión de detalles . . . . .	87
4.10.1. Décima iteración . . . . .	87
4.10.2. Undécima iteración: versión final . . . . .	89
<b>5. La aplicación RACMA . . . . .</b>	<b>91</b>
5.1. Diagrama de flujo de la aplicación . . . . .	91
5.2. Arquitectura de la aplicación . . . . .	96
5.2.1. Escenas de la aplicación . . . . .	96
5.2.2. Escalabilidad de la aplicación . . . . .	98
5.2.3. Animaciones . . . . .	101
5.2.4. Soporte Multi-Idioma . . . . .	103
5.3. Publicación de la aplicación en Play Store de Google . . . . .	105
<b>6. Evaluación con usuarios . . . . .</b>	<b>109</b>
6.1. Plan de evaluación . . . . .	110
6.1.1. Propósito de la evaluación . . . . .	111
6.1.2. Requisitos para los participantes . . . . .	112
6.1.3. Diseño experimental . . . . .	112

6.1.4.	Tareas a realizar . . . . .	113
6.1.5.	Entorno y las herramientas que vamos a emplear . . . .	114
6.1.6.	Obtención de <i>feedback</i> de los participantes . . . . .	114
6.1.7.	Tareas del moderador . . . . .	115
6.1.8.	Descripción de la metodología de análisis de datos . .	115
6.2.	Primera evaluación: octava iteración de la aplicación . . . . .	116
6.2.1.	Informe de resultados y soluciones . . . . .	117
6.2.2.	Sugerencias de nuevas funcionalidades por parte de los usuarios . . . . .	122
6.2.3.	Conclusiones más relevantes . . . . .	124
6.3.	Segunda evaluación: novena iteración de la aplicación . . . . .	125
6.3.1.	Informe de resultados y soluciones . . . . .	125
6.3.2.	Sugerencias de nuevas funcionalidades por parte de los usuarios . . . . .	127
6.3.3.	Conclusiones más relevantes . . . . .	127
6.4.	Resúmenes globales de las evaluaciones . . . . .	128
6.4.1.	Encuesta inicial para conocer al usuario . . . . .	128
6.4.2.	Encuesta de valoración de las tareas y sugerencias . .	129
6.4.3.	Encuesta de satisfacción (SUS) . . . . .	130
6.4.4.	Conclusiones obtenidas de las encuestas . . . . .	131
6.5.	Dispositivos probados . . . . .	131
<b>7.</b>	<b>Conclusiones y trabajo futuro.</b>	<b>133</b>
7.1.	Conclusiones . . . . .	133
7.2.	Conclusions . . . . .	136
7.3.	Repercusión del proyecto . . . . .	139
7.4.	Líneas de trabajo futuras . . . . .	140
<b>8.</b>	<b>Organización del trabajo y aportaciones.</b>	<b>143</b>
8.1.	Organización del equipo . . . . .	143
8.1.1.	Modelo de desarrollo usado . . . . .	143
8.1.2.	Herramientas de comunicación . . . . .	144
8.1.3.	Herramientas de edición gráfica . . . . .	145
8.2.	Aportaciones al proyecto . . . . .	145
8.2.1.	David Hernando Hernández . . . . .	145
8.2.2.	Marta Caro Martínez . . . . .	147
<b>II</b>	<b>Apéndices</b>	<b>151</b>
<b>A.</b>	<b>Prototipos diseñados en iteraciones iniciales de la aplicación</b>	<b>153</b>
A.1.	Prototipos de la primera iteración . . . . .	153

A.2. Prototipos de los cambios realizados en la quinta iteración . .	157
<b>B. Respuestas de las encuestas en la evaluación con usuarios</b>	<b>159</b>
B.1. Encuesta inicial de conocimiento del usuario . . . . .	159
B.2. Encuesta de valoración de las tareas de la aplicación y suge- rencias . . . . .	162
 <b>Bibliografía</b>	 <b>165</b>

# Índice de figuras

2.1. Aplicación Connect More . . . . .	10
2.2. Esquema que diferencia RA, RV y RM . . . . .	12
2.3. Ejemplo de RA usando un marcador . . . . .	12
2.4. Código QR . . . . .	14
2.5. Aplicación de la RA en la medicina . . . . .	15
2.6. Aplicación de la RA al desarrollo de un proyecto arquitectónico	16
2.7. Interfaz de Wikitude y Layar . . . . .	17
2.8. Uso de Sixthense . . . . .	17
2.9. Jugando con AndAR Model Viewer . . . . .	18
2.10. Jugando con Paparazzi . . . . .	18
2.11. Jugando con Sky Siege . . . . .	19
2.12. GoAumented en el Museo Británico . . . . .	20
2.13. Street Museum en el Museo de Londres . . . . .	21
2.14. Exposición de RA en el MOMA de Nueva York . . . . .	21
2.15. Rom Ultimate Dinosaurs . . . . .	22
2.16. RA en el museo de Museo de Allard Pierson . . . . .	23
3.1. Esquema del funcionamiento de Vuforia . . . . .	30
3.2. Prueba de Reconocimiento de MultiTarget . . . . .	36
3.3. Opción <i>ExtendedTracking</i> activada . . . . .	36
3.4. Prueba de Reconocimiento de CylinderTarget . . . . .	37
3.5. Ventana de Vuforia para crear un marcador . . . . .	39
3.6. Ventana de Vuforia que muestra el marcador creado . . . . .	40
3.7. Imagen del tutorial . . . . .	41
3.8. Imagen del tutorial . . . . .	41
4.1. Boceto de la distribución del mapa en el museo . . . . .	44
4.2. Boceto desde otra perspectiva de la distribución del mapa en el museo . . . . .	45
4.3. Especificaciones del teléfono utilizado . . . . .	47
4.4. Imágenes de la aplicación Madrid Metro Bus Cercanías . . . . .	51

4.5. Imágenes de la aplicación Teslapedia . . . . .	52
4.6. Imágenes de la aplicación Youtube . . . . .	53
4.7. Imágenes de la aplicación Museo Thyssen . . . . .	53
4.8. Imágenes de la aplicación Fever . . . . .	54
4.9. Prototipo en papel versión horizontal . . . . .	56
4.10. Prototipo 1 influencia de Teslapedia . . . . .	57
4.11. Prototipo 2 influencia de Teslapedia . . . . .	57
4.12. Prototipo 3 influencia de Madrid Metro   Bus   Cercanías . . .	58
4.13. Prototipo 4 influencia de Madrid Metro   Bus   Cercanías . . .	58
4.14. Prototipo conjunto desde menú principal . . . . .	59
4.15. Prototipo conjunto desde realidad aumentada . . . . .	60
4.16. Prototipo tras reunión . . . . .	62
4.17. Mapa en papel con límites políticos . . . . .	65
4.18. Mapa en papel sin límites políticos . . . . .	65
4.19. Menú principal Prototipo basado en menú de botones . . . . .	66
4.20. Prototipo menú de botones: Aviso de ayuda al usuario . . . . .	66
4.21. Prototipo menú de botones: RA desde casa . . . . .	67
4.22. Prototipo menú de botones: pantalla de un área cultural . . . .	67
4.23. Prototipo menú de botones: pantalla de la cultura con barra de scroll . . . . .	67
4.24. Prototipo menú desplegable: haciendo uso de la realidad au- mentada con el menú plegado . . . . .	68
4.25. Prototipo menú desplegable: Menú principal desplegado . . . .	69
4.26. Prototipo menú desplegable: Ventana del área cultural . . . . .	69
4.27. Prototipo menú desplegable: Galería de imágenes del área cul- tural . . . . .	69
4.28. Infografía para ayudar a usar la aplicación . . . . .	72
4.29. Ventana del área cultural . . . . .	72
4.30. Ventana de información del museo . . . . .	72
4.31. Galería de imágenes . . . . .	73
4.32. Ventana de información sobre los desarrolladores . . . . .	73
4.33. Proposición de visión de la cámara usando realidad aumentada	73
4.34. Marcador utilizado en el museo . . . . .	75
4.35. Prueba alejando el personaje 3D del marcador . . . . .	76
4.36. Cartel informativo sobre las pruebas del proyecto colocado en el museo . . . . .	77
4.37. Fotografía del mapa del museo . . . . .	78
4.38. Marcador colocado en el mapa del museo . . . . .	78
4.39. Resultado de uso de la aplicación con el marcador un metro más cerca del usuario . . . . .	79
4.40. Splash screen . . . . .	81



4.41. Galería de imágenes con botón de ubicación . . . . .	82
4.42. RA con todos los personajes 3D . . . . .	83
4.43. Ventana mostrando el mensaje de cargando . . . . .	84
4.44. Menú principal con botón para cambiar de idioma . . . . .	84
4.45. Tres culturas colocadas en la maqueta del mapa del museo . .	85
4.46. Opción <i>ExtendedTracking</i> activada al visualizar el área cultu- ral noroeste . . . . .	86
4.47. Menú principal con el logo del museo de América . . . . .	88
4.48. Ejemplo del Área cultural Costa Noroeste en el museo . . . .	88
4.49. Ventana de información . . . . .	88
4.50. Información sobre el museo de América en inglés . . . . .	89
4.51. Menú principal con el nuevo diseño . . . . .	90
4.52. Ventanas de información sobre el proyecto . . . . .	90
5.1. Diagrama de flujo desde el menú principal . . . . .	94
5.2. Diagrama de flujo desde la ventana de realidad aumentada . .	95
5.3. Proceso de subida de la aplicación a Google Play . . . . .	106
5.4. Página para la clasificación del contenido de la aplicación . .	107
5.5. Sólo los testers Alpha y beta pueden descargar la aplicación .	107
5.6. Ficha de RACMA en la versión beta . . . . .	107
5.7. Vista de RACMA en la Google Play Store . . . . .	108
6.1. Ejemplo de informe recogido durante las evaluaciones . . . . .	110
6.2. Inclusión de información en las infografías . . . . .	117
6.3. Inclusión del botón de ayuda en el menú principal . . . . .	118
6.4. Botón de atrás durante (izq.) y después (dcha.) de la primera evaluación . . . . .	119
6.5. Ventana “Más sobre el Museo de América” durante la primera evaluación . . . . .	119
6.6. Ventana “Más sobre el Museo de América” después de la pri- mera evaluación . . . . .	119
6.7. Infografía de ayuda para la parte en el museo, durante la pri- mera evaluación . . . . .	120
6.8. Infografía de ayuda para la parte en el museo, después de la primera evaluación . . . . .	120
6.9. Galería de imágenes durante la primera evaluación . . . . .	121
6.10. Galería de imágenes durante la primera evaluación . . . . .	121
6.11. Jerarquía de botones durante la evaluación . . . . .	125
6.12. Jerarquía de botones después la evaluación . . . . .	126
6.13. Cambio de colores de los botones de la cultura principal . . .	126
6.14. Cambio de colores de los botones de la galería de la cultura principal . . . . .	127

6.15. Puntuaciones posibles en la encuesta SUS . . . . .	130
A.1. Pantalla inicial (opción 1) . . . . .	153
A.2. Prototipo muestra de características del área cultural (opción 1) . . . . .	154
A.3. Prototipo de pantalla inicial (opción 2) . . . . .	154
A.4. Prototipo “Arrastrar muñeco” opción 2 . . . . .	155
A.5. Funcionalidad, el muñeco vuelve a su lugar (opción 2) . . . . .	155
A.6. Prototipo idea mapa (opción 3) . . . . .	156
A.7. Imagen de lo que se ve a través de la cámara del móvil desde casa . . . . .	157
A.8. Vista de la galería de imágenes (izq.) y de una imagen ampliada (dcha.) . . . . .	157
A.9. Ventana del área cultural (izq.) y de la cultura principal (dcha.)	157
A.10. Infografías de ayuda para usar la app en el museo (izq.) y desde casa (dcha.) . . . . .	158
A.11. Ventana de información del museo . . . . .	158
B.1. Rango de edad . . . . .	159
B.2. Asiduidad a museos . . . . .	160
B.3. Nivel de estudios . . . . .	160
B.4. Conocimientos sobre culturas americanas . . . . .	160
B.5. Uso de aplicaciones de RA . . . . .	161
B.6. Uso de RA en museos . . . . .	161
B.7. Profesión de los participantes . . . . .	161
B.8. Prueba realizada . . . . .	162
B.9. Identificación de áreas culturales . . . . .	162
B.10. Características más valoradas . . . . .	163
B.11. Características menos valoradas . . . . .	163

# Índice de Tablas

3.1. Tabla comparativa de las tecnologías disponibles para el desarrollo de RA . . . . .	27
3.2. Vista con la cámara del teléfono usando y sin usar la RA . . .	33
3.3. Características para emplear una imagen como marcador . . .	38
5.1. Personajes representativos que aparecen en la aplicación . . .	93
6.1. Tabla comparativa de dispositivos probados . . . . .	131



Parte I

Memoria



# Capítulo 1

## Introducción a RACMA

### 1.1. Introducción

La realidad aumentada es una tecnología que combina la visualización del mundo real con elementos virtuales interactivos en tiempo real. Aunque hace unos años esta tecnología era costosa y necesitaba de una gran inversión en dispositivos que diesen soporte a la misma, a día de hoy está al alcance de la mano de cualquier persona que tenga un dispositivo móvil de última generación (smartphone o tablet).

La realidad aumentada está siendo introducida en los museos como un medio innovador de dinamización y que facilita la inclusión de nuevos contenidos sin necesidad de tener que introducir nuevos elementos físicos en él. La realidad aumentada proporciona un componente interactivo muy novedoso, una nueva forma de involucrar a los turistas y visitantes de un museo con los contenidos del mismo, lo cual añade nuevo valor a nuestro patrimonio cultural turístico.

En esta memoria detallamos el desarrollo de la aplicación RACMA, destinada a añadir contenidos a un mapa mudo del continente americano que se encuentra en el Museo de América de Madrid. La aplicación incluye también una experiencia aumentada en casa, de modo que los contenidos del museo también pueden ser visitados fuera de él.

#### 1.1.1. Antecedentes

El proyecto que describimos en este documento es un proyecto en el que se parte desde cero. Consiste en la creación de una aplicación nueva para el

Museo de América, sin ideas iniciales o precedentes anteriores de aplicaciones parecidas realizadas por otros alumnos de la Facultad de Informática de la Universidad Complutense de Madrid. Por tanto, este Trabajo de Fin de Grado, no tiene antecedentes.

Sí hemos podido contar con ideas realizadas por otros museos, o tutoriales y bibliografía encontrada, pero teniendo en cuenta que toda esta información debía ser adaptada a nuestro proyecto y necesidades del museo.

### 1.1.2. Objetivos y motivación

En la creación de esta aplicación nos encontramos como principal objetivo realizar una aplicación Android que permita proporcionar información a los visitantes del Museo de América de forma innovadora y divertida, de manera que el usuario tenga una buena experiencia y un mayor interés por el museo.

Para poder conseguir este objetivo hemos presentado al usuario la aplicación RACMA con la cual puede hacer que un simple mapa de papel o un mapa físico se conviertan en mapas interactivos gracias al uso de la realidad aumentada. Resumiendo, nuestro trabajo ha consistido en desempeñar las siguientes tareas:

- Buscar una librería de realidad aumentada que nos permita cumplir los requisitos que tenemos.
- Investigar sobre esa librería y familiarizarnos con ella.
- Analizar el uso de la realidad aumentada en los museos.
- Estudiar cómo se organiza un proyecto en Unity así como las distintas piezas que tiene.
- Diseñar e implementar una aplicación haciendo uso de lo estudiado anteriormente.
- Realizar evaluaciones con usuarios para evaluar la experiencia de uso de la aplicación.
- Hacer que el proyecto tenga repercusión para poder llevarlo a cabo en otros museos.

Académicamente hablando, la principal motivación que teníamos en este proyecto era la posibilidad de trabajar con un cliente real, con el cual hay que tratar a menudo, reunirse con él, cumplir sus requisitos e intentar siempre



que quede satisfecho.

También nos motivaba el hecho de investigar sobre una tecnología no muy común como es la realidad aumentada, descubrir cómo funcionaba y cómo desarrollar una aplicación basada en ella. La motivación se incrementaba sabiendo que no teníamos antecedentes de trabajos anteriores, por lo que crearíamos una aplicación totalmente nueva a partir de nuestra investigación previa. Mientras realizamos el trabajo, nos dimos cuenta de que nuestro proyecto tenía muchas restricciones tecnológicas, por lo que otro gran objetivo que teníamos era vencer esas restricciones o adecuar la aplicación a ellas para asegurar que la aplicación cumple con los requisitos deseados a pesar de estos inconvenientes.

Este proyecto es un proyecto real, que no quedará guardado en un cajón, sino que va a quedar implantado en el museo después de la finalización del Trabajo de Fin de Grado, por lo que usuarios reales van a poder disfrutar de nuestro trabajo. Personalmente, esta era nuestra principal motivación, ya que el resultado del proyecto tendría efectos en la vida real, en personas de todo tipo a las que de alguna manera influiríamos con nuestro trabajo.

### **1.1.3. Plan de trabajo y organización de la memoria**

Nuestro plan inicial consiste en hacer un estudio del estado de la realidad aumentada en la actualidad, para luego ir indagando más en ello y ver sus usos tanto fuera como dentro de los museos (Capítulo 2). Realizaremos después un estudio exhaustivo sobre las librerías de realidad aumentada que existen en la actualidad, elegiremos una y veremos en detalle su funcionamiento para poder hacer uso de ella en nuestro proyecto, además de ir tomando contacto con ella mediante la realización de tutoriales y lectura de libros y artículos (Capítulo 3). Posteriormente nos reuniremos con el museo para ver cuál es su necesidad concreta y estudiar cómo podemos aplicar la realidad aumentada dentro del mismo. Para ello propondremos una solución que desarrollaremos siguiendo un proceso iterativo para poder tener siempre un producto que se pueda ver, probar y enseñar al museo (Capítulo 4). Más adelante y con una versión estable de la aplicación realizaremos evaluaciones con usuarios de distintos rangos de edades para poder refinarla (Capítulo 6) y obtendremos de esta manera una aplicación con mejoras que genere una mejor experiencia de uso a los usuarios (Capítulo 5). Una vez realizado todo este proceso obtendremos las conclusiones del proyecto, enumeraremos los posibles trabajos futuros a realizar e intentaremos publicitar la aplicación para que nuestro proyecto se dé a conocer (Capítulo 7). Para finalizar el proyecto, veremos las aportaciones que cada miembro del grupo haya hecho a este Trabajo de Fin de Grado así como la organización que finalmente hayamos seguido a la hora de trabajar conjuntamente (Capítulo 8).

## 1.2. Introduction

Augmented reality is a technology that combines real-world visualization with interactive virtual elements in real time. Although a few years ago this technology was expensive and needed a large investment in devices that should give support to it, today is close at hand of anyone who has a smartphone or tablet.

Augmented reality is being introduced in museums as an innovative means of energizing and facilitating the inclusion of new content without having to introduce new physical elements in it. Augmented reality provides a new interactive component, a new way to involve tourists and museum visitors with its contents, which adds new value to our tourist cultural heritage.

In this report we detail the development of RACMA application designed to add content to a American blank map that is in the Museo de América in Madrid. The application also includes an augmented experience at home, so that the contents of the museum can also be visited outside.

### 1.2.1. Previous Work

The project described in this report is a project that we start from scratch. It consists in the creation of a new application for the Museo de América, without previous initial ideas or previous similar applications created by other students of the Facultad de Informática at the UCM. Therefore, this Final Project Grade, is unprecedented.

Yes, we could have ideas made by other museums or found tutorials and bibliography, but considering that this information should be adapted to our project and needs of the museum.

### 1.2.2. Goals and motivation

As main goal, we had to make an Android application that could provide information to visitors to the Museo de America in innovative ways so that the user has a good experience.

In order to achieve this goal we have presented to the user RACMA application with which he or she can make a simple paper map or physical map become interactive maps through the use of augmented reality. In short, our work consisted of the following tasks:

- Search augmented reality technology that allows us to develop the requirements we have.

- Research on the technology and become familiar with it.
- Analyze the use of this technology in museums.
- Study how a project is organized into Unity and the various pieces that it have.
- Design and implement an application using the knowledge that we studied before.
- Make evaluations with users to evaluate the experience of using the application.
- Increase the project's impact to use it in other museums.

Academically speaking, the main motivation we had in this project was the opportunity to work with a real client, which often have to deal with, meet him, carry with their requirements and always try to satisfy his or her wishes.

We were also motivated by the fact of investigating an uncommon technology such as augmented reality, discovering how it works and how to develop an application based on it. The motivation increases knowing that we had no previous work, so we would create a whole new application from our previous research. While we were working, we realized that our project had many technological constraints, so another big goal that we had was to overcome these restrictions or adjust the application to them to ensure that the application meets the desired requirements despite these issues.

This project is a real project, which will be not stored in a drawer, but it will be introduced in the museum when we finish our Final Project of Degree, so that real users will be able to enjoy our work. Personally, this was our main motivation because, as result, the project is going to have an impact in real life and we are going to influence to different people with our work.

### **1.2.3. Workplan and report organization**

Our initial plan is to make a study of the state of augmented reality today, then go investigating more about it and see their uses outside and inside the museums (Chapter 2). After, we will make a thorough study of augmented reality technologies that exist today, we will choose one and see its operation in detail to make use of it in our project and we will begin to get in touch with it by tutorials, books and articles (Chapter 3). Later, we will meet with the museum to see what is their specific need and consider how we can implement augmented reality in the museum. For this, we will propose

a solution that we will develop with an iterative process in order to always have a product that we can see, test and show the museum (Chapter 4). Later and with a stable version of the application, we will make evaluations to people with different age ranges in order to refine the application (Chapter 6) and, with this, we will obtain a improvement of the application that will generate a better experience for users (Chapter 5). Once completed this process, we will get the project conclusions, we will enumerate the possible future works and we will try to advertise the application to make our project known (Chapter 7). To finish the project, we will see the contributions that each member of the group has made in this Final Project of Degree and the organization that we finally followed for working together (Chapter 8).

## Capítulo 2

# Realidad aumentada y su aplicación en museos

La realidad aumentada es una tecnología relativamente nueva y desconocida que avanza a pasos agigantados ante las necesidades tecnológicas de la sociedad actual. Es por esto que, al comienzo del proyecto, necesitábamos conocer el marco en el que se utiliza la realidad aumentada y en qué consiste exactamente para poder construir una aplicación sujeta a los propósitos del Museo de América y adaptada a la sociedad actual en la que nos encontramos.

Por esto mismo, era fundamental para nosotros conocer cuáles son los contextos en los que se puede utilizar la realidad aumentada como herramienta de mejora de la sociedad, ya sea en educación, entretenimiento, medicina, etc. Nuestro objetivo era implantar una aplicación en un museo, por lo que vimos interesante centrarnos en descubrir qué se ha hecho en otros museos, saber hasta dónde podíamos llegar y conocer cuáles son las principales necesidades de los museos y sus visitantes.

En resumen, en este capítulo podremos ver con detalle en qué consiste la realidad aumentada, las tecnologías necesarias para poder crearla, en qué contextos se usa y la aplicación que tiene en museos.

## 2.1. Introducción y contexto de la realidad aumentada

La investigación y creación de software donde se hace uso de la realidad aumentada (en adelante RA) está creciendo en los últimos tiempos. Sus múltiples aplicaciones y su atractivo aspecto visual está provocando que cada vez más los desarrolladores del campo de la informática y de las nuevas tecnologías se interesen por ella y la incluyan en sus proyectos.

En la actualidad se está produciendo un aumento muy significativo del número de dispositivos móviles así como de las prestaciones de los mismos, lo que está favoreciendo el surgimiento de aplicaciones cada vez más sofisticadas. Además, actualmente todos los dispositivos móviles cuentan, entre sus principales prestaciones, con una cámara de fotos/video de buena calidad, por lo que hoy en día aplicar la RA a estos dispositivos es un campo en continuo progreso y con muchas posibilidades de futuro. (Mendoza Méndez et al. (2013))

A día de hoy hay muchas aplicaciones interesantes sobre RA que, aún no llegando a sacar el máximo rendimiento de dicha tecnología, nos ofrecen la posibilidad de pensar que la RA estará muy presente en nuestra vida diaria en un futuro cercano. Por ejemplo, nos llama la atención la aplicación Connect More (Figura 2.1) , que permite a los usuarios jugar al cuatro en raya en una pantalla, mediante la captura de gestos de las manos.



Figura 2.1: Aplicación Connect More

Esta aplicación por sí misma puede que no tenga gran uso, además del entretenimiento. Sin embargo, es una de los mayores adelantos en el desarrollo de software de RA porque va a repercutir en la reducción del uso de hardware complejo, que normalmente está asociado al reconocimiento de gestos. (Jisc (2014))

El campo donde, probablemente, haya progresado más su uso es en el de los videojuegos y entretenimiento. Las videoconsolas ya ofrecen la posibilidad de interactuar (incluso con el propio cuerpo del jugador) con objetos que parece que se mueven sobre el escenario que capta la cámara, viendo además el resultado de sus acciones en una pantalla donde se mezclan la imagen real y la virtual.

Por supuesto, el uso de la RA en los dispositivos móviles también va encaminado hacia el ocio pero no de manera exclusiva. No hay que olvidar que una de las principales ventajas de estos dispositivos es que podemos hacer uso de ellos en cualquier lugar. Por tanto, se pueden crear aplicaciones donde el principal interés sea el mostrar una interacción del mundo virtual con el mundo real, teniendo en cuenta la movilidad que un dispositivo móvil proporciona. Por ejemplo, se podría sobreimprimir en la pantalla información sobre un edificio famoso que estás grabando o dibujar la forma de las constelaciones mientras enfocas a un cielo estrellado. (Devs (2011))

Todos los dispositivos de última generación incluyen un receptor GPS que permite ubicar la localización del aparato. Esta cualidad puede ser utilizada por aplicaciones que hagan uso también de la RA y que mediante la utilización de la cámara puedan mostrar información sobre el lugar donde te encuentras dependiendo incluso de la orientación espacial que tenga el dispositivo. Por ejemplo, una aplicación de navegación que nos indica la ruta a seguir en tiempo real hacia un destino podría hacerlo mostrando las indicaciones sobreimpresas en la propia imagen real que vas captando de la carretera. Esta aplicación es ya una realidad gracias a las conocidas Google Glass (Google (2015)).

Estos son sólo algunos de los usos que una aplicación de realidad aumentada puede tener. Muchas de estas aplicaciones ya comienzan a ser una realidad. Gracias a la incipiente expansión en el desarrollo de esta tecnología y al interés de un público que cada vez dispone de más facilidades para acceder a ella, el crecimiento está asegurado.

El objetivo de este primer capítulo es tratar de estudiar el estado del arte de la realidad aumentada en la actualidad, así como las distintas funciones que ofrece y las distintas tecnologías existentes para realizar una valoración sobre cuál es la que más nos conviene emplear para el proyecto.



Figura 2.2: Esquema que diferencia RA, RV y RM

## 2.2. Concepto de realidad aumentada

La realidad aumentada es una tecnología basada en el uso de dispositivos tecnológicos para crear una visión de la vida real en la que se incluyen elementos virtuales. Los dispositivos añaden estos elementos en tiempo real, creando de esta forma una visión mixta a través del dispositivo. En la Figura 2.2, podemos observar esquemáticamente la diferencia de la RA con el mundo real y con la realidad virtual, la cual comentaremos un poco más adelante.

Por lo tanto, la RA consiste en superponer una capa de contenido virtual sobre la imagen del mundo real, de manera que lo complementa con información adicional. Para poder saber donde superponer el contenido virtual se puede utilizar reconocimiento de marcadores (véase Figura 2.3) que, como veremos más adelante, son muy variados.

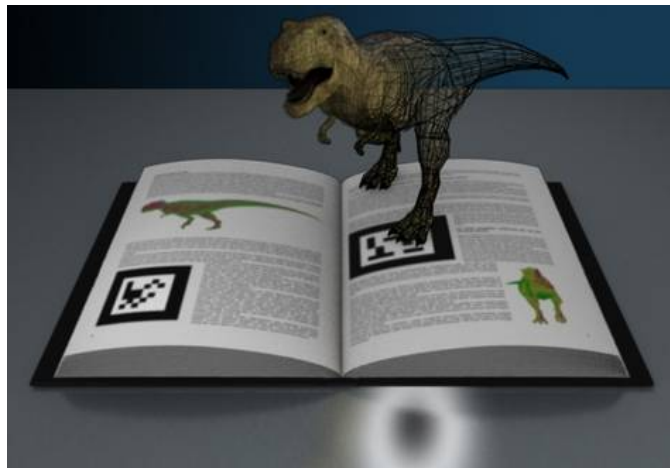


Figura 2.3: Ejemplo de RA usando un marcador

La realidad virtual, por el contrario, consiste en la creación de un entorno irreal creado mediante ordenador, que permite al usuario integrarse en una realidad totalmente simulada proporcionándole la sensación de que está en ella gracias a diferentes tecnologías. Por consiguiente, la realidad mixta es



una mezcla de realidad física y virtual, que se diferencia con la realidad aumentada en que el usuario no es el único que puede interactuar con el entorno virtual, sino que también los propios objetos físicos pueden interactuar con los virtuales.

Las propiedades principales de los sistemas de realidad aumentada son:

- Mezcla de realidad y virtualidad
- Interacción en tiempo real
- Referencia espacial entre ambas realidades

## 2.3. Tecnologías necesarias para la ejecución de realidad aumentada

Para poder disfrutar de aplicaciones de RA, se necesitan los siguientes elementos:

- Un dispositivo que soporte los sistemas de RA. Este dispositivo va a tener como mínimo los siguientes componentes:
  - Monitor o pantalla, donde se va a proyectar la imagen virtual superpuesta sobre la imagen real.
  - Cámara digital, que va a tomar la información del mundo real y la va a transmitir al software de realidad aumentada.
  - Un procesador potente y una gran cantidad de memoria RAM para procesar las imágenes captadas por la cámara.
  - Otras tecnologías como: sensores ópticos, acelerómetros, GPS, giroscopios, brújulas de estado sólido, RFID, etc.
- Un software que recoja los datos reales y los transforme en realidad aumentada.

Estos requisitos los cumplen los smartphones y las tablets, lo que los convierte en una posible plataforma de ejecución de aplicaciones de RA. (Foundation (2015))

Con estos elementos, la plataforma o dispositivo en cuestión puede crear la base de la RA: el reconocimiento o *tracking* que es el proceso de seguimiento de objetos por parte del dispositivo. Es decir, a través del *tracking* el dispositivo conocerá en todo momento las coordenadas y orientación del objeto sobre el que se van a superponer las imágenes virtuales. (Cristina Manresa Yee y Vénere (2011)) y (Julie Carmigniani y Ivkovic (2010)).

El *tracking* puede ser de varios tipos:

- Reconocimiento a través de dispositivos físicos. Estos dispositivos son los que ya hemos mencionado anteriormente: GPS, brújulas digitales, giroscopios, etc. Van a permitir que el dispositivo conozca dónde tiene que crear los elementos virtuales.
- Reconocimiento a través de marcadores, también llamados *targets* (imágenes u objetos). Ese marcador va a ser interpretado por el software y, dependiendo de cuál sea ese marcador, proporcionará una respuesta u otra.
- Reconocimiento híbrido, que mezcla reconocimiento de marcadores con uso de sensores y dispositivos físicos.

Dentro del reconocimiento a través de marcadores, hay diferentes tipos de *targets*. Los mencionaremos y detallaremos en la siguiente sección.

## 2.4. Tipos de marcadores para realidad aumentada

De una manera genérica existen los siguientes tipos de marcadores:

- **Códigos QR o similares (Figura 2.4):** son en sí píxeles blancos y negros formando por lo general cuadrados cuya lectura es rápida y permite redireccionar a contenidos web o mostrar algo cuando la cámara del dispositivo móvil lo detecte.



Figura 2.4: Código QR

- **Imágenes:** imágenes normales y corrientes como cualquier foto que podamos hacer con nuestro teléfono. Eso sí, estas deben de ser imágenes fáciles de distinguir o que sigan algún patrón para que se pueda detectar de alguna manera.
- **Objetos simples (cubos, cajas o cilindros):** lo que en realidad detectaría la aplicación sería la imagen que está impresa en la figura y no la figura en sí.

- **Objetos complejos:** actualmente, también existe la posibilidad de realizar reconocimiento de objetos complejos, es decir, de objetos cotidianos. Esta opción es obviamente más compleja que las anteriores y en la cual no hemos profundizado demasiado.

## 2.5. Importancia y ventajas generales de la realidad aumentada

La creación y desarrollo de la realidad aumentada ha hecho posible la incorporación de nuevas tecnologías en sectores y ambientes no asociados normalmente al uso de ciencias computacionales, como puede ser la enseñanza, el arte o la historia. (Anastassia Angelopoulou y Kolyda (2012))

Es quizá en medicina (Figura 2.5), industria, arquitectura (Figura 2.6), defensa, robótica, entretenimiento, mecánica, marketing y publicidad donde más auge está teniendo el uso de este tipo de aplicaciones. (Pache (2014))

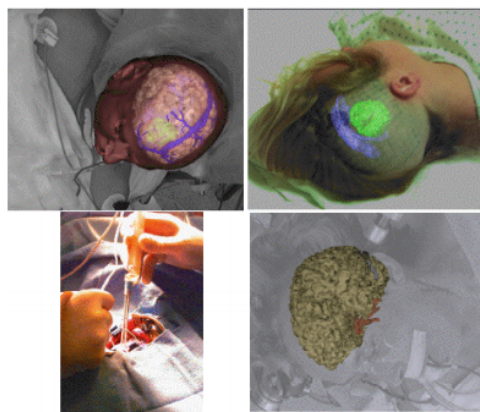


Figura 2.5: Aplicación de la RA en la medicina

Sólo con el uso de un dispositivo computacional, principalmente de dispositivos móviles, las personas pueden acceder a contenidos virtuales en cualquier momento. La realidad aumentada además hace posible que este contenido sea incorporado al contenido físico de un lugar en concreto, provocando una clara mejoría en el desarrollo y avances en campos científicos y tecnológicos.

Por tanto, las ventajas del uso de la realidad aumentada en la sociedad se pueden resumir en las siguientes:

- Mejora de la interacción entre el mundo real y el virtual.



Figura 2.6: Aplicación de la RA al desarrollo de un proyecto arquitectónico

- Integración del uso del ordenador en actividades del día a día. Los objetos cotidianos se convierten en objetos interactivos, por lo que las nuevas tecnologías se harán más accesibles a todo tipo de personas, incluidas las no especializadas.
- La información se traslada al mundo real, en lugar de introducir el mundo real en el ordenador.
- Construcción de entornos interactivos.

En cuanto a desventajas, podemos destacar lo que se podría considerar como una fractura en la realidad pudiendo causar una peligrosa interacción entre lo que es real y lo ficticio, y a su vez, originar efectos en personas jóvenes o influenciables, que no sepan distinguir qué es lo real y lo que no. (Pache (2014)). Algunos ejemplos de aplicaciones de realidad aumentada en diferentes ámbitos son:

- **Wikitude y Layar (Figura 2.7):** son dos aplicaciones que permiten visualizar en pantalla a tiempo real información de lo que estamos enfocando con nuestra cámara del móvil, a través de GPS y brújula digital. (GmbH (2014) y Layar (2014)).
- **Car Finder:** es una aplicación con la que se puede buscar y localizar tu vehículo en cualquier lugar si no te acuerdas de donde lo aparcaste, informando de la dirección donde se encuentra y la distancia a la que está, gracias a la cámara y a la brújula del móvil. (Software (2014)).
- **Sixthsense (Figura 2.8):** es una aplicación que permite que la cámara reconozca los gestos que realizan las personas con respecto a los objetos que les rodean, de forma que el proyector superpone todo tipo de información contextual a la visión del usuario. (Mistry (2009)).



Figura 2.7: Interfaz de Wikitude y Layar



Figura 2.8: Uso de Sixsense

Además, la realidad aumentada es una de las tecnologías con mayor proyección de futuro en la industria de los videojuegos, son cada vez más los juegos que incluyen tecnologías en las que se integra la realidad virtual a la real. Las ideas que pueden proporcionarnos estas aplicaciones pueden ser muchas y muy variadas para el desarrollo de nuestro proyecto, sobre todo si finalmente decidimos incluir algún juego en la aplicación. Algunos de los que más nos han llamado la atención son:

- **AndAR Model Viewer:** es una aplicación no muy compleja en cuanto a RA, pero nos ha llamado la atención la visualización de diferentes figuras por encima de los marcadores, tales como Superman, plantas o sillas. También nosotros crearemos figuras en 3D, personas tan complejas como las que se muestran en la Figura 2.9. (Domhan (2013)).



Figura 2.9: Jugando con AndAR Model Viewer

- **Paparazzi:** es la aplicación que ganó el primer premio del concurso de *Qualcomm Augmented Reality Dev Challenge '10*. Permite reconocer un billete de dólar de manera que aparezca un muñeco encima del billete. La novedad de esta aplicación con respecto a otras de su época es que el muñeco se mantiene en pantalla mientras el móvil se mueve, incluso fuera del marcador. (Figura 2.10). (Punch (2013)).

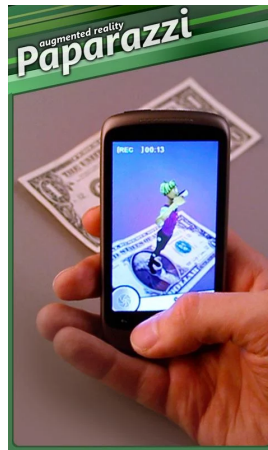


Figura 2.10: Jugando con Paparazzi

- **Sky Siege:** es una aplicación que transforma el entorno físico del jugador en un campo de batalla. Por las puntuaciones y comentarios ofrecidos por los usuarios de Google Play Store, observamos que no es una aplicación de gran jugabilidad, pero el entorno virtual ofrecido, así como la funcionalidad en realidad aumentada, es interesante.

Es llamativo para nosotros ya que también queremos crear un contexto virtual encima del mapa del Museo de América. (Figura 2.11). (madfirm (2012)).



Figura 2.11: Jugando con Sky Siege

## 2.6. Importancia y ventajas de la realidad aumentada en museos

En el caso de los museos, la realidad aumentada es uno de los mayores avances en cuanto a introducir nuevo contenido se refiere. Dependiendo del tipo de aplicación desarrollada, los visitantes van a poder conocer más información y navegar en mayor profundidad en los temas mostrados en el museo e interactuar con los objetos expuestos. Todo esto permite mostrar más contenidos que los enseñados de manera “física” al público.

La interacción digital con la historia expuesta en el museo proporciona al usuario la sensación de encontrarse dentro del contexto de la misma, lo que hace que la experiencia para el usuario sea de mayor disfrute. Además, usar un dispositivo es más intuitivo y natural que leer la información de un cartel en una pared o vitrina, sobre todo teniendo en cuenta que hoy en día, cualquier persona tiene un smartphone. La información no sólo se puede leer, se puede escuchar, se puede ver en vídeos, jugar a algún juego explicativo o interactuar con animaciones o presentaciones multimedia. De esta forma, usar una aplicación de RA en el propio museo produce mejor experiencia del usuario, ya que se encuentra dentro del contexto de la información mostrada.

Una de las mayores ventajas del uso de la realidad aumentada es que no se necesitan infraestructuras computacionales adicionales en el museo, ya que son los visitantes los que se llevan la propia infraestructura, es decir, el

móvil y/o la tablet. Esta tecnología permite que el museo tenga unos costes de mantenimiento y adquisición.

La principal desventaja que encontramos es que la aplicación de RA utilizada sólo va a poder ser usada en ese museo en concreto, a no ser que se incluyan otras funcionalidades para que la aplicación pueda ser aplicada en otros contextos (pero en ese caso, ya no se usaría la RA como base de la aplicación). Teniendo en cuenta que sólo va a poder ser usada en el museo, el usuario accede a ella en contadas ocasiones (muchas veces una sola vez).

## 2.7. Ejemplos de RA en museos

En los últimos años, la realidad aumentada está tomando gran relevancia en los museos, incluyendo en algunos de los museos más importantes y visitados del mundo. Algunos de estos museos son:

- **Museo Británico:** con la aplicación GoAumented (en la Figura 2.12), el museo permite a los visitantes obtener más información de los objetos expuestos mediante una tablet Samsung. Esta aplicación ha sido desarrollada mediante el software Junaio. Sería algo parecido a lo que nosotros queremos hacer en nuestra aplicación.



Figura 2.12: GoAumented en el Museo Británico

- En el **Museo de Londres**, existe una aplicación, **Street Museum** (Figura 2.13) que permite ver una foto antigua de las calles que el visitante recorre con su dispositivo móvil. Esta aplicación no sólo favorece al museo en sí, sino al turismo de la ciudad de Londres, que por supuesto se verá afectado, ya que las personas que utilicen esta aplicación tendrán que visitar las calles para poder acceder a las fotografías



antiguas. De esta aplicación lo que más nos llama la atención de cara a nuestro proyecto es la posibilidad de guiar a las personas por el museo o por aquellos lugares donde se desee. (Brothers y Ltd (2014)).



Figura 2.13: Street Museum en el Museo de Londres

- **Exposición en el MOMA de Nueva York (Figura 2.14):** se muestra virtualmente, en lugar de ser una exposición física. Lo que más nos llama de esta aplicación es la curiosidad que despierta en los visitantes del museo, que parten de una habitación prácticamente vacía en la que empiezan a ver elementos gracias a la RA. (Veenhof (2010)).



Figura 2.14: Exposición de RA en el MOMA de Nueva York

- En el **Museo Royal Ontario de Toronto** se puede usar una aplicación, **Rom Ultimate Dinosaurs** (Figura 2.15), con la que el usuario puede ver un dinosaurio en tiempo real en 3D. Esta aplicación hace uso

de marcadores, en concreto imágenes para reconocer donde mostrar el dinosaurio virtual. Gracias a esta aplicación la gente puede tener una sensación de estar frente al dinosaurio como si éste fuera real, lo que hace mucho más llamativa e interesante la visita al museo. También puede ser interesante esta idea para el desarrollo de nuestra aplicación, puesto que el visitante en todo momento está parado en un sitio concreto de forma que siempre pueda reconocer al dinosaurio virtual y que éste se superponga al dinosaurio real. (de Toronto (2012)).



Figura 2.15: Rom Ultimate Dinosaurs

- **RA en el museo de Museo de Allard Pierson:** con un dispositivo portátil perteneciente al museo, los visitantes pueden ver información ampliada y animaciones de los objetos expuestos. De esta aplicación lo que más nos llama la atención es que utilizan el reconocimiento de formas para mostrar la realidad aumentada. Esta opción puede ser muy interesante para nosotros para poder reconocer pequeñas maquetas en nuestro proyecto. (meSch (2013)).

## 2.8. Conclusiones

La realidad aumentada es una tecnología en auge, que puede aplicarse en muchos de los aspectos cotidianos de la vida de las personas, incluso en situaciones y lugares que no se asocian a las nuevas tecnologías, como pueden ser las visitas a museos. La realidad aumentada aplicada en este ámbito ha provocado que más contenidos sean expuestos en los museos y de una manera totalmente novedosa, que hace más interesante la experiencia a los visitantes. Proporciona ventajas a los visitantes, pero también al propio museo donde se usa la aplicación: los costes de mantenimiento y adquisición van a ser bajos.



Figura 2.16: RA en el museo de Museo de Allard Pierson

Además la realidad aumentada ofrece gran variedad de opciones para mostrar contenidos, mediante presentaciones, juegos, videos, documentación, etc. y de forma muy intuitiva y atractiva para los usuarios. Por este motivo en los museos más importantes del mundo se han implantado aplicaciones de realidad aumentada, y es de todas ellas de donde podemos inspirarnos para nuestra propia aplicación. Nos llaman especialmente la atención las aplicaciones que se usan en el Museo Británico, el Museo Royal Ontario de Toronto y el Museo de Allard Pierson, ya que son ideas que podrían ayudarnos en el desarrollo de la aplicación para el Museo de América.

La realidad aumentada es, por tanto, una de las tecnologías que más proyección de desarrollo tiene y que, junto con las aplicaciones para móviles, más va a ser utilizada en la vida cotidiana de la sociedad en un futuro próximo.



## Capítulo 3

# Tecnologías para el desarrollo de aplicaciones de Realidad Aumentada

Este capítulo detalla cuáles son las tecnologías disponibles para el desarrollo de realidad aumentada, realizando además una comparación de todas ellas con el objetivo de averiguar cuál es la que más nos conviene para el desarrollo de este proyecto.

Una vez hecha esta comparación, elegimos utilizar la librería Vuforia. Comentaremos entonces en qué consiste esta librería y cómo funciona, cuáles son las ventajas de su uso y las restricciones de Vuforia que podían limitar nuestro proyecto y causarnos problemas en el desarrollo.

Finalizaremos el capítulo con un repaso de todas las pruebas que realizamos con Vuforia, efectuadas con el objetivo de hacer una toma de contacto con la tecnología antes de empezar a desarrollar nuestro proyecto.

### 3.1. Tecnologías disponibles para el desarrollo de realidad aumentada

Para estudiar las distintas librerías de realidad aumentada hemos hecho un análisis de las siguientes:

- **(Total Immersion (2015))**: es la plataforma comercial de RA más utilizada en el mundo. A través de su solución de software patentada

*D'Fusion®*, Total Immersion desdibuja la línea entre el mundo virtual y el mundo real mediante la integración en tiempo real de gráficos 3D interactivos en una secuencia de vídeo en directo.

- **(Metaio (2015))**: ofrece cuatro productos para la creación de aplicaciones de RA, éstos son:
  - Metaio Creator (programa para crear experiencias de realidad aumentada de forma sencilla y rápida para iOS, Android y/o PC sin necesidad de saber programar),
  - Metaio SDK (herramienta más completa para programar aplicaciones de realidad aumentada para iOS, Android y/o PC),
  - Metaio Cloud (servicio para tener tu contenido en la nube donde podrás actualizar tu app fácilmente),
  - Metaio CVS (CVS (Búsqueda Continua Visual) es un servicio adicional para reconocer cientos o miles de imágenes de forma rápida).
- **(ARToolkit (2015))**: es una biblioteca de software para la construcción de aplicaciones de RA. Entre las características que destacan de este SDK se encuentran:
  - un código sencillo de calibración de la cámara,
  - distribución con el código fuente completo
  - empleo casi exclusivo sobre marcadores con la ventaja de que ofrece una captación de los marcadores bastante rápida.
- **(ARPA (2015))**: empresa pionera en el mundo de la RA que realiza soluciones y aplicaciones desde el año 2006. Ofrece un SDK para el desarrollo de aplicaciones de RA para dispositivos móviles, para las Google Glass y además tiene un plugin de integración con Unity.
- **(Layar (2015))**: ofrece un programa para la creación de aplicaciones de RA con soporte para iOS, Android y Google Glass. Ofrece detección de imágenes, objetos simples, vallas publicitarias, entre otras.
- **(Mixare (2015))**: es una distribución libre, gratuita y de código abierto que permite la creación de aplicaciones de RA. Está disponible tanto para iOS como para Android y ofrece tanto una aplicación propia de la empresa como una distribución para el desarrollo propio.
- **(Vuforia (2015d))**: es una de las tecnologías más desarrolladas y utilizadas en la actualidad para el uso de RA. Disponible para su utilización en Unity, Java, C++ y compatible con iOS y Android. Ofrece la captura de marcadores, imágenes, imágenes en cilindros, conos, cubos, cajas y objetos complejos.

Ahora bien, de entre estas librerías tenemos que elegir cuál vamos a usar. Para ello hemos realizado una tabla comparativa (3.1) donde estudiamos los siguientes aspectos de cada tecnología:

- **Tipo de software:** en este punto hemos estudiado si cada una de las bibliotecas es libre o propietaria.
- **Tipos de marcadores que ofrece:** en este punto hemos buscado qué tipos de marcadores nos ofrece cada una de las librerías (códigos QR o similares, imágenes, cubos, cilindros, conos, cajas y objetos complejos). Entendiendo que si el framework permite el reconocimiento de todos los tipos de marcadores, se marque con la etiqueta “*Todos*” y si le falta alguno, se indique el que falte.
- **Documentación:** la cantidad de tutoriales, libros y páginas web con información para aprender acerca de la librería, en internet o en bibliotecas. Etiquetamos con “*Amplia*” si hay mucha documentación y “*Escasa*” si no tenemos mucha a nuestro alcance.
- **Plataformas:** las distintas plataformas para las que se puede implementar la aplicación de RA usando esta biblioteca (Android, iOS, Google Glass, Windows Mobile). Aquí etiquetamos con “*Multi-plataforma*” a los que son compatibles con al menos iOS y Android.
- **Entornos en las que se apoya:** el entorno en el que se puede desarrollar esta aplicación, como por ejemplo Unity, o herramientas directamente creadas por la empresa propietaria de ese SDK.

	Total Immersion	Metaio	ARToolKit	ARPA	Layar	Mixare	Vuforia
<b>Tipo de Software</b>	Propietario	Libre con restricciones	Libre	Propietario	Propietario	Libre	Libre
<b>Tipos de Marcadores que ofrece</b>	Todos excepto objetos complejos	Todos excepto objetos complejos	Todos excepto objetos complejos	Todos excepto objetos complejos	Todos excepto objetos complejos	Todos excepto objetos complejos	Todos
<b>Documentación</b>	Escasa	Escasa	Amplia	Amplia	Escasa	Escasa	Amplia
<b>Plataformas</b>	Multi-plataforma	Multi-plataforma	Multi-plataforma	Multi-plataforma	Multi-plataforma	Multi-plataforma	Multi-plataforma
<b>Entornos en los que se apoya</b>	D'Fusion Studio	Metaio creator	ARToolkit	Unity, SDK móviles	Layar creator	Mixare SDK	Unity, C++ y Java

Tabla 3.1: Tabla comparativa de las tecnologías disponibles para el desarrollo de RA

Observando la tabla 3.1, decidimos finalmente usar Vuforia por entender que esta tecnología es la que más facilidad de aprendizaje nos va a ofrecer.

En el siguiente apartado veremos esta tecnología explicada mucho más en detalle.

### 3.2. Tecnología de realidad aumentada: Qualcomm Vuforia

Antes de explicar detalladamente los principales aspectos de la librería Vuforia, es necesario especificar que en diciembre de 2014 se subió una nueva versión de la librería, la 4.0, que incluye ciertas mejoras como el reconocimiento de figuras tridimensionales complejas, lo que produjo la desaparición de la versión que nosotros estábamos utilizando en ese momento, la 3.0.9. Debido a todo el estudio previo que habíamos realizado hasta ese momento, decidimos seguir adelante con la versión 3.0.9, puesto que la realización de una nueva etapa de investigación y pruebas retrasaría demasiado el desarrollo de la aplicación.

Lo expuesto en la presente memoria con respecto a Vuforia y su funcionamiento hace referencia a la versión utilizada por nosotros para la creación de nuestro proyecto, ya que es la que hemos estudiado en detalle y es la que se necesita conocer para entender internamente RACMA. Por lo tanto, no se hará en ningún momento referencia a la versión 4.0, a no ser que se especifique.

#### 3.2.1. ¿En qué consiste Vuforia?

Qualcomm Vuforia es un Kit de Desarrollo Software SDK para el desarrollo de aplicaciones para móviles y tablets que se puede integrar con Unity de forma que la aplicación pueda reconocer marcadores y crear así realidad aumentada.

El uso de este SDK proporciona tres funcionalidades principales que resultan muy interesantes para los desarrolladores de aplicaciones de RA:

- Establecimiento de cuál va a ser el tipo de objeto a reconocer: imágenes, Frame Markers (similares a los códigos QR), texto, objetos cilíndricos o imágenes múltiples (generalmente representadas en cubos o cajas).
- Reconocimiento del objeto (*tracking*).
- Visionado del contenido digital, permitiendo un gran desarrollo de creatividad en la aplicación mediante el uso de efectos de fondo, botones virtuales, reproducción de vídeo, etc. que pueden ser integradas también con las múltiples opciones que nos ofrece Unity.



En este punto es importante recordar que, tal y como ya hemos comentado en este mismo capítulo, la integración con Unity es uno de los aspectos que más nos atrajeron en la elección de Vuforia. Unity es una plataforma con muchísimas posibilidades, entre las que se incluyen generación de juegos y contenido en 3D, inteligencia artificial avanzada, creación de interfaces detalladas y atractivas, etc. También es importante recalcar que la utilización de Unity y la implementación con ella se realiza de forma más o menos fácil para principiantes y desarrolladores autónomos, como nosotros.

Además, trabajar con Vuforia ofrece también muchas ventajas en cuanto a ayuda, documentación, herramientas, servicios y soporte:

- Facilidad de aprendizaje gracias a la buena documentación y la cantidad de tutoriales que existen en internet. En especial es interesante la guía de desarrollo de Vuforia y su servicio web.
- Vuforia ofrece un sistema gestor de marcadores (Vuforia (2015c)), llamados también *targets*, que va a permitir facilitar el establecimiento del tipo de objeto a reconocer y el propio reconocimiento.
- Foro de soporte con ayuda especializada de ingenieros técnicos, además de muchas dudas resueltas en los posts publicados.
- Desarrollo multiplataforma, tanto para iOS como para Android.
- Vuforia soporta lenguajes de programación de alto nivel, como C#, que permite también facilidad de aprendizaje para personas integradas en el mundo de la programación, claridad de código y eficiencia.
- Es gratuito.

Tras esta pequeña introducción a Vuforia, vamos a explicar un poco más en detalle lo que nos ofrece esta librería y lo que hemos usado de ella a lo largo de este proyecto.

Tecnológicamente hablando, el principal elemento que nos proporciona Vuforia es la ARCamera (*Augmented Reality Camera*) que hace uso de la cámara de nuestro dispositivo pero con características especiales para que sea capaz de detectar marcadores (*targets*). Estos marcadores van a ser imágenes que nosotros previamente subimos a un gestor de marcadores y que se le pasará a la aplicación para que sepa qué imágenes tiene que ser capaz de detectar (Figura 3.1)

Además, esta cámara tiene un opción llamada *ExtendedTracking* que cuando está activada permite que una vez que la cámara ha detectado el marcador, aunque éste no esté a su vista, se muestren los elementos virtuales sobre el mundo real igual que si se estuviese enfocando indefinidamente el *target*. Esta

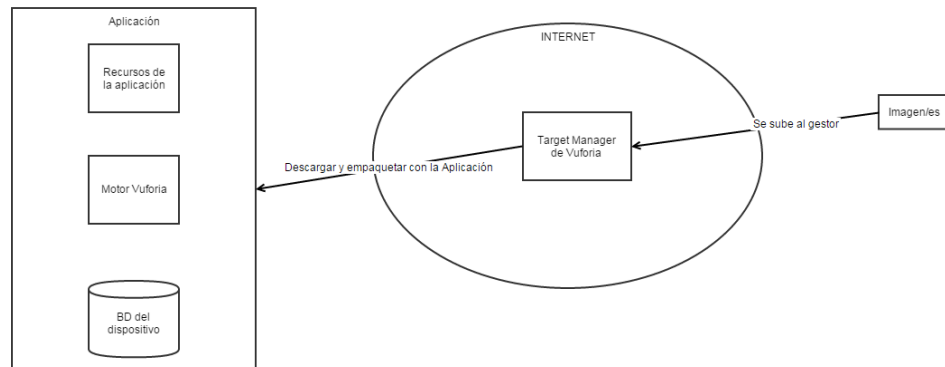


Figura 3.1: Esquema del funcionamiento de Vuforia

opción, aunque no es perfecta ya que si se mueve el dispositivo bruscamente se pierde el efecto, va a darnos mucho juego en el mapa del museo donde queremos implantar la aplicación de RA.

Vuforia nos proporciona además captura de eventos que nos sirven de utilidad. Como ejemplo de los eventos que hemos usado, tenemos los siguientes:

- *OnTrackingFound()* que devuelve true cuando la cámara ha detectado un marcador, lo que hace que se muestren los objetos que sean hijos del *target*. A modo de ejemplo, si tenemos una imagen (que será nuestro marcador) que tiene dos objetos hijos, como pueden ser dos personajes virtuales en 3D, cuando la *ARCamera* detecta nuestra imagen, entonces se mostrarán nuestro dos personajes, que desaparecerán cuando dejemos de ver el marcador a excepción de que tengamos activado el *ExtendedTracking*.
- *OnTrackingLost()* que devuelve true cuando se pierde de vista el marcador. Este último evento se puede ver modificado cuando se activa la función *ExtendedTracking* de la que hemos hablado previamente.

La *ARCamera* permite detectar varios tipos de marcadores. A continuación detallamos cuáles son estos tipos:

- FrameMarker: son marcadores similares a los conocidos códigos QR.
- ImageTarget: permite usar una imagen como marcador para mostrar la parte virtual. Aquí hay que destacar que no todas las imágenes son válidas, ya que tienen que tener rasgos característicos que permitan a la *ARCamera* trabajar bien. Esta validación se realiza con el gestor de marcadores que se ofrece en la página oficial de Vuforia.

- CloudRecognition: nos permite tener una base de datos en la nube con las imágenes que queremos reconocer para que el dispositivo las detecte y muestre la imagen virtual.
- CylinderTarget: ofrece la posibilidad de detectar una imagen en un cilindro o cono. Al igual que ocurre con ImageTarget es necesario que la imagen impresa en la figura tenga unas ciertas características que el gestor debe validar.
- MultiTarget: sirve para usar, tal y como dice su nombre, múltiples imágenes generalmente formando un cubo o caja. La ventaja que tiene este marcador es que permite, detectando una única cara del cubo, colocar el resto ya que el propio programa sabe dónde se geolocalizan las demás. La imagen debe ser validada también por el gesto de *targets*.
- TextRecognition: permite detectar textos y a partir de ellos mostrar lo que se quiera. Este tipo de marcador fue usado para desarrollar la app de ChimuRA (de América (2015)) del Museo de América de Madrid.
- UserDefinedTarget: permite que el usuario elija el marcador que quiera usar haciendo previamente una foto de éste. Este tipo de *target* no es muy recomendable ya que el usuario probablemente no tenga idea de lo que es un buen marcador y por lo tanto la aplicación puede que tenga problemas en el reconocimiento de dicho *target*. El usuario no tendría entonces una buena experiencia con la realidad aumentada.

### 3.2.2. Problemas con la documentación de Vuforia

La documentación proporcionada por Vuforia en su página web es extensa, completa y muy detallada, con lo cual pudimos empezar a trabajar sin problemas durante los primeros meses del desarrollo del proyecto. Estos primeros meses consistieron en investigación, pruebas y toma de contacto con Unity y Vuforia y es por eso que pudimos realizar una buena toma de contacto y saber hasta dónde podíamos llegar en el desarrollo de la aplicación.

Sin embargo, como ya se ha comentado en este capítulo, en diciembre de 2014 se subió una nueva versión de la librería, la 4.0, lo que produjo la desaparición de la versión que nosotros estábamos utilizando en ese momento, la 3.0.9. La documentación de la web oficial de Vuforia fue sustituida para la nueva versión, de forma que ya no disponíamos del contenido anterior.

En consecuencia, tuvimos ciertos problemas cada vez que queríamos consultar la documentación o que necesitábamos resolver problemas con respecto a la librería, no sólo por el cambio de contenidos, sino también por la reestructuración que se había hecho de la web. Sin embargo, estas dificultades

no fueron tan grandes como lo hubiesen sido si la actualización de Vuforia se hubiese hecho en una etapa más temprana de la investigación. A esa altura del desarrollo del proyecto ya habíamos realizado suficientes pruebas como para conocer el funcionamiento de Vuforia, por lo que sólo realizamos consultas puntuales, teniendo siempre en cuenta que la solución encontrada podría no servir para nuestra versión de Vuforia.

### 3.2.3. Restricciones de la tecnología

A medida que íbamos investigando sobre Vuforia y las posibilidades de implementación que tiene esta tecnología, a la vez que realizábamos pruebas de diversos tipos nos dimos cuenta de las restricciones que tiene Vuforia. Estas restricciones son las que principalmente nos han obstaculizado el trabajo durante el desarrollo de la aplicación.

Uno de los principales problemas que nos hemos encontrado ha sido la imposibilidad de convivencia entre Vuforia y el terminal Google Nexus 5. Es un *bug* que sólo aparece en este terminal, y algo totalmente imposible de solucionar por nuestra parte, ya que es un problema del SDK Vuforia.

El problema consiste en que la cámara de realidad aumentada enfoca las imágenes sin luz, haciendo que todo lo que se ve a través del móvil con la ARCamera esté totalmente oscuro, especialmente cuando la luz de la habitación donde nos encontramos es escasa, como es el caso de la sala del mapa del museo donde queríamos implantar la aplicación de RA. No sucede, sin embargo, con la cámara integrada en el móvil (Tabla 3.2). Habíamos trabajado con la RA a partir de imágenes en papel, y no habíamos tenido ningún problema. Incluso llegamos a definir como terminal del desarrollo Google Nexus 5, puesto que uno de nosotros tiene este móvil y nos pareció una buena elección. Nos percatamos de este impedimento cuando empezamos a trabajar con la realidad aumentada dentro del museo, donde la luz es bastante escasa. Fue en ese momento cuando nos dimos cuenta de que al enfocar el mapa, Nexus 5 mostraba las imágenes completamente oscuras, mientras que el móvil del otro integrante funcionaba perfectamente.

Esto nos obligó a cambiar el terminal de desarrollo a **Doogee Valencia DG800 con sistema operativo Android y versión KitKat 4.4.2.**

La otra principal incompatibilidad encontrada ha sido la de Vuforia con la versión de Android Lollipop 5.0. La detectamos en la etapa de evaluación de la aplicación con usuarios, tal y como comentaremos más adelante. En todos los móviles con estas versiones nos hemos encontrado el mismo problema: cuando se ejecuta la funcionalidad en la que se abre la *ARCamera* de Vuforia, la aplicación se cierra sin ningún motivo y explicación. Imposi-



Tabla 3.2: Vista con la cámara del teléfono usando y sin usar la RA

ble de solucionar también por nuestra parte, ya que es Vuforia la que no es compatible.

Los otros dos inconvenientes principales que encontramos en Vuforia son los factores de **distancia e iluminación**. Como ya se ha comentado anteriormente, la cámara de realidad aumentada que proporciona Vuforia enfoca las imágenes bastante más oscuras de lo que son en realidad. Por tanto, si la iluminación del entorno también es escasa, la cámara será incapaz de reconocer el marcador porque no es capaz de visualizarlo.

La distancia es también un gran condicionante en el caso del desarrollo de nuestro proyecto: el mapa donde implantaríamos la aplicación tiene una dimensiones considerables, sumándole además que los usuarios están aproximadamente un metro por encima del mapa, tal y como comentaremos en el siguiente capítulo. Enseguida comprobamos que a mayor distancia, mayor dificultad de reconocimiento de marcadores, no llegándose a reconocer el *target*

en el caso de que la longitud que le separa del dispositivo sea desmesurada o de que el marcador en cuestión sea demasiado pequeño. Influye en este sentido la iluminación. Mediante la gran cantidad de pruebas que realizamos durante el desarrollo del trabajo, comprobamos que a mayor iluminación, es posible detectar marcadores a mayores distancias. Además, hay que tener en cuenta que las cámaras de los móviles, en general, por muy potentes que sean, nunca lo van a ser lo máximo posible, ya que la mayor funcionalidad de estos dispositivos no es la de grabar imágenes y hacer fotografías.

Teniendo todo esto en mente, sabíamos que si el museo no nos daba unas ciertas facilidades, sería imposible implantar la aplicación en el mapa.

### 3.3. Primer contacto y pruebas con Unity y Vuforia

Nunca, hasta empezar con este proyecto, habíamos tenido contacto con Unity ni Vuforia, por lo que hemos necesitado un largo proceso de autoaprendizaje para conocerlas en detalle así como conocer más de cerca el lenguaje C#. Este proceso lo hemos dividido principalmente en 5 etapas:

- **Etapla 1. Realización de tutoriales de Unity.** El objetivo de la realización de las pruebas con Vuforia y Unity es conocer cómo funciona la tecnología y cuáles son las opciones que nos ofrece, para poder saber cómo integrarlo al problema del mapa en el Museo de América.

Conocíamos Unity simplemente como una plataforma de desarrollo de videojuegos y desarrollo de aplicaciones principalmente visuales, por lo que sabíamos lo potente que podía ser para el desarrollo de nuestra aplicación. En el caso de Vuforia ni siquiera conocíamos su existencia antes de la realización de la anterior etapa de investigación. Aún así, desconocíamos el modo de trabajar con ambas tecnologías y necesitábamos saber su funcionamiento para empezar a conocer nuestras posibilidades de implementación y cómo integrar ambas.

Empezamos buscando bibliografía acerca de Unity para introducirnos a este entorno de trabajo además de investigar por internet, buscando tutoriales que nos permitiesen hacer aplicaciones lo más sencillas posibles para luego ir aumentando en complejidad.

Como primera toma de contacto con Unity empezamos a descubrir la principal estructura de un proyecto realizado en este entorno:

**Proyecto  $\supset$  Escenas  $\supset$  GameObjects  $\supset$  Componentes**

Un proyecto se compone de una o varias escenas. Podemos entender una escena como cada una de las pantallas de un juego. Cada escena se

compone a su vez de distintos `GameObjects` que simplemente son los objetos que aparecerán en la escena, como puede ser el muñeco principal de un juego, los árboles, etc. Para añadir funcionalidades a estos objetos para que, por ejemplo, se muevan cuando tocamos una tecla, cada uno tiene asociados varios componentes, que a su vez en algunas ocasiones se apoyan en scripts, que son archivos con código escrito en el lenguaje que cada uno quiera emplear (C#, JavaScript o Boo).

Empezamos realizando tutoriales de iniciación a Unity, creando proyectos muy sencillos añadiendo escenas, objetos y componentes ya creados. Jugamos con las herramientas y con las ventanas disponibles del entorno, conociendo cómo crear los elementos de la aplicación.

- **Etapla 2. Realización de tutoriales de Vuforia** Habiendo realizado este primer contacto con Unity, comenzamos a realizar en seguida tutoriales de Vuforia, investigando sobre todo en la página oficial de Vuforia (Vuforia (2015b)).

Las primeras aplicaciones que intentamos realizar fueron aquellas en las que los marcadores que la *ARCamera* debía reconocer eran códigos QR o imágenes:

- Las aplicaciones que reconocían códigos QR salían perfectamente, siguiendo el siguiente tutorial (véase Gratis (2013)), adaptándolo a *FrameMarker*, en lugar de a *ImageTarget*.
- Sin embargo, las pruebas de reconocimiento de imágenes no funcionaban, aún utilizando el tutorial anterior. Nos dimos cuenta entonces que el tutorial que estábamos siguiendo no estaba lo suficientemente completo para el caso de *ImageTarget* y tuvimos que realizar otra etapa de investigación. Finalmente, encontramos uno con el que pudimos realizar una aplicación correctamente. (Vegas (2014)).

El problema estaba en el objeto *ARCamera*, en concreto en unas opciones que había que marcar en un componente de este objeto. Este paso no lo estábamos realizando, desconocíamos que hubiera que hacerlo, ya que en los demás tutoriales consultados no se encontraba esta información.

- Después de la etapa de investigación anterior, tal y como hemos comentado anteriormente, descubrimos que la versión de Vuforia que utilizábamos solo permitía reconocimiento de imágenes, códigos QR, cilindros, cubos o cuboids (un cubo pero no con todas las caras iguales, estilo caja de cereales), puesto que lo que reconoce la cámara de realidad aumentada es la imagen que se encuentra

plasmada en las caras de la figura, no la figura en sí. Por lo tanto, en esa versión que usábamos no se permite la detección de figuras complejas.

- Probamos también a crear objetos virtuales en cualquier lugar independientemente de donde esté el target y funcionaba perfectamente.
- Empezamos haciendo pruebas de cubos (Figura 3.2), con el material que proporciona Vuforia en su web (Vuforia (2015a)).

La realización de la aplicación se hace exactamente igual que cuando se realiza una aplicación de reconocimiento de imágenes. Tuvimos problemas en dos de las pruebas:



Figura 3.2: Prueba de Reconocimiento de MultiTarget

- En una de las pruebas, el objeto virtual se quedaba en pantalla, aunque el target ya no se enfocase (Figura 3.3).

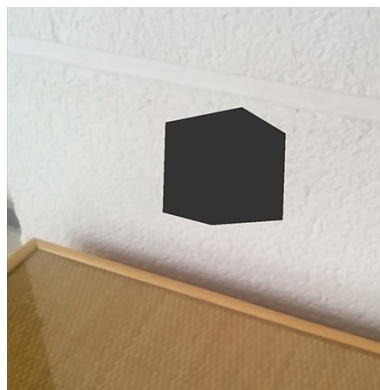


Figura 3.3: Opción *ExtendedTracking* activada

- La otra prueba simplemente no funcionaba, aún siguiendo el tutorial correcto.



Realizando una prueba conjunta resolvimos ambos problemas. Para el primer problema detectamos que teníamos activado la opción *Extended Tacking*, que hemos mencionado anteriormente. En ese momento nos dimos cuenta de la utilidad que podía tener esa opción: nos permitiría mover el móvil con más libertad de forma que el usuario pudiese seguir viendo objetos aún sin estar el marcador en el campo de visión del móvil (aunque sí de la cámara de realidad aumentada).

Para el segundo problema, vimos que el error fue que se movió la *ARCamera* de la escena en Unity y por eso la cámara no era capaz de detectarlo. Concluimos tras esto que es importante no mover demasiado la cámara ya que puede dar problemas de este tipo.

- Después hicimos pruebas de reconocimiento de cilindros (Figura 3.4): Primero probamos con un target creado por nosotros mismos, pero no funcionó, debido a la mala calidad de la foto. Probando con un *target* creado por Vuforia funcionó perfectamente, aunque esta vez tuvimos que mover algo más la *ARCamera*, con respecto a las anteriores pruebas, para que se enfocara bien el target. En este punto, vamos a hacer un pequeño paréntesis pa-



Figura 3.4: Prueba de Reconocimiento de CylinderTarget

ra explicar lo que aprendimos sobre cómo realizar marcadores de Vuforia.

▪ **Etapa 3. Como crear marcadores personalizados en Vuforia**

En este apartado vamos a explicar cómo podemos crear un marcador, sea del tipo que sea, excepto los Frame Markets que por defecto sólo pueden ser lo que vienen con el paquete de Vuforia.

Vuforia nos proporciona a los desarrolladores un gestor de marcadores online donde podemos subir nuestras imágenes para que puedan ser utilizadas como marcadores, tal y como hemos visto anteriormente.

Según Vuforia, para que una imagen sea fácilmente empleada para la RA tiene que tener las características mostradas en la tabla 3.3.

Atributo	Ejemplo
Ser rica en detalles	Escena de una calle, un grupo de personas, collages y mezclas de objetos o escenarios deportivos
Tener buen contraste	Regiones brillantes y oscuras, y bien iluminado
No tener patrones repetitivos	Un campo cubierto de hierba, la fachada de la casa moderna con ventanas idénticas, o un tablero de ajedrez
Formato de imagen	Debe ser 8 o 24 bits PNG y JPG; menos de 2 MB de tamaño; JPG deben ser RGB o escala de grises (sin CMYK)

Tabla 3.3: Características para emplear una imagen como marcador

Vamos a ver a alto nivel como se realizaría un marcador:

1. Acceder al target manager de vuforia: Target Manager de Vuforia<sup>1</sup>
2. Creamos una base de datos que contendrá los marcadores de nuestro proyecto.
3. Una vez creada esta base de datos, ahora solo necesitaremos añadir marcadores a ella (Figura 3.5). Para el marcador necesitaremos el ancho del mismo, así como un nombre para localizarlo. Entre los tipos de marcadores que se pueden crear, tenemos los mismos que hemos mencionado anteriormente.

<sup>1</sup><https://developer.vuforia.com/target-manager>

Figura 3.5: Ventana de Vuforia para crear un marcador

4. Una vez creado el marcador podemos ver lo buena que es esa imagen para actuar como marcador con un ranking de cero (no vale como marcador) a cinco (es un marcador óptimo) estrellas (Figura 3.6).
- **Etapas 4. Realización de pruebas e investigación de posibles implementaciones de la aplicación: distancia máxima para el reconocimiento de *targets* y extracción de bordes de imágenes.** Las pruebas de cálculo de distancias consistieron básicamente en la creación de *targets* más o menos grandes y, con aplicaciones de prueba creadas en etapas anteriores, alejarse lo más posible de los *targets* enfocándolos con la cámara de RA.

Los resultados obtenidos de estas pruebas fueron:

1. El tamaño máximo de cubo que se consiguió detectar es de 25cm de ancho a una distancia de aproximadamente 2 o 2,5 metros.
2. Para un código QR de 14x14 cm, la cámara lo detectó a unos 220-230 cm como máximo.



Figura 3.6: Ventana de Vuforia que muestra el marcador creado

3. Para una imagen de aproximadamente 85x60 cm, la cámara la detecta por lo menos a 4 m.

Durante estas pruebas pudimos apreciar lo importante que es la luz para el reconocimiento de cualquier tipo de *target*, como ya hemos comentado anteriormente. Cuanta más luz haya, más facilidad de reconocimiento tendrá la cámara de RA. Este es uno de los factores más destacables a tener en cuenta en el desarrollo del proyecto, junto con la distancia del *target*, puesto que puede facilitarnos, o dificultarnos mucho el trabajo.

Por otra línea de investigación, nos planteamos si sería posible que la cámara de Vuforia enfocara una imagen de la maqueta e internamente se creara una imagen en blanco y negro, gracias a la detección de los bordes del mapa, de manera que esa imagen pudiera compararse con el marcador en cuestión.

Para ello, realizamos un nuevo proyecto de prueba en Unity y consultamos la API de Vuforia para acceder a la imagen captada por la ARCamera y tutoriales para pasar una imagen a blanco y negro (Pacheco (2015)).

Durante el trascurso de la prueba nos dimos cuenta de que para que esta solución funcionase, necesitaríamos no sólo una imagen marcador, sino infinitas, ya que el usuario tendría que poder reconocer el mapa desde dónde esté, desde cualquier ángulo y posición. Por tanto, concluimos que esta opción no es factible y la descartamos definitivamente.

- **Etapa 5. Realización de tutorial integrando Unity, Vuforia y funcionalidades para Android. Primera contacto con C#.** Esta etapa consistió en la creación de código y manejo de este código para Android y Vuforia, centrándose en el movimiento de los objetos, animaciones, eventos para Android, etc.

El principal tutorial que seguimos y que nos pareció más interesante fue el siguiente (véase Videojuegos (2015)). (Figura 3.7 y Figura 3.8).



Figura 3.7: Imagen del tutorial



Figura 3.8: Imagen del tutorial

Es interesante ya que nos sirvió para un primer contacto con C#, enseñándonos algunas de las ideas que podrían ser útiles y factibles en nuestro proyecto.



## Capítulo 4

# Diseño iterativo de la aplicación

En este capítulo explicaremos cómo ha sido el proceso de desarrollo de la aplicación. Como veremos a continuación, el desarrollo ha sido un proceso iterativo de diseño, inspirado en el Diseño Guiado por Objetivos que aprendimos en la asignatura Desarrollo de Sistemas Interactivos, de forma que realizábamos una iteración por cada vez que se producía un cambio significativo en la aplicación.

Hemos decidido explicar este proceso de manera cronológica tal y como ha ido ocurriendo. A continuación, detallaremos cada una de estas iteraciones, incluyendo explicaciones de reuniones mantenidas, propuestas realizadas, ideas creadas y capturas de errores y soluciones encontradas. Además, para cada iteración señalaremos cuál fue la fecha que nosotros consideramos que fue en la que se finalizó ese prototipo.

Mencionaremos también el terminal de desarrollo que hemos elegido para basarnos en él durante el desarrollo del proyecto, de forma que la aplicación funcione al menos en ese dispositivo.

Al final de este capítulo comentaremos cómo fueron las dos últimas iteraciones de la aplicación, después del prototipo resultante gracias a la evaluación con usuarios y tras la revisión de la aplicación por parte de nuestros clientes del museo. Estas dos últimas iteraciones darían lugar a la versión final de la aplicación.

### 4.1. Contexto

En el Museo de América, situado en el distrito de Moncloa en Madrid hay un mapa mudo del continente americano de aproximadamente 16 metros de largo por 6 metros (Figura 4.1).

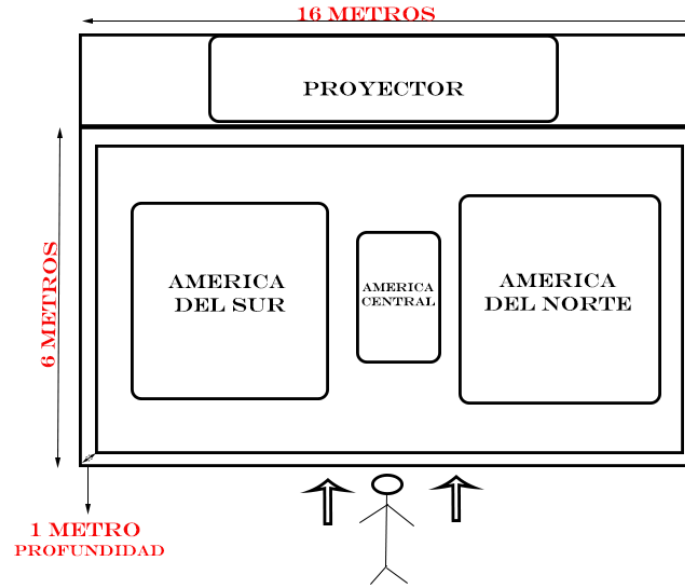


Figura 4.1: Boceto de la distribución del mapa en el museo

Tal y como nos transmiten desde el museo, el principal problema que tiene el mapa es que al ser mudo no transmite nada a la mayoría de visitantes ya que éstos pasan de largo sin pararse ni siquiera a mirar. Nuestro principal objetivo es lograr que este mapa llame la atención de la gente y, para ello, proponemos el uso de la realidad aumentada para poder darle vida mostrando sobre el mismo, personajes virtuales y contenido relevante. Con esta iniciativa de solución, no sólo se permite a los visitantes obtener más información acerca de América, sino que pueden hacerlo de una forma totalmente novedosa, acercándose también a las nuevas tecnologías y a las nuevas actividades que éstas pueden ofrecer en este contexto. Esta idea es muy bien recibida por el museo, puesto que es una solución muy atractiva e innovadora para ellos y que a la vez va a poder implementarse sin incluir nada encima del mapa, que es la mayor restricción que se nos impone de su parte. Por todo ello, consideramos que la realidad aumentada es la opción perfecta para la resolución del problema que se nos presenta desde el museo de América.

Observando la sala en la que se encuentra el citado mapa intentamos buscar los posibles problemas que a priori nos vamos a encontrar. Uno de los in-



convenientes que se nos presenta es que la sala cuenta con una iluminación atenuada. Esto puede ser un hándicap para nuestra aplicación de realidad aumentada porque la falta de luz puede afectar al enfoque de la cámara del dispositivo, como ya hemos comentado en el capítulo anterior. Otro de los problemas que se nos presenta es la distancia: es mucha. Por lo general, la tecnología que vamos a emplear está pensada para usar desde distancias relativamente pequeñas para así facilitar la interacción con el usuario. Además tenemos que tener en cuenta que el mapa se encuentra un metro por debajo del nivel del suelo por lo que los usuarios lo ven desde una plataforma (Figura 4.2).

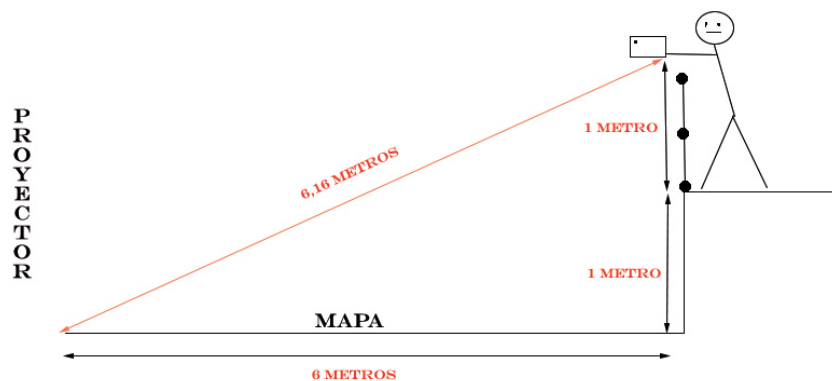


Figura 4.2: Boceto desde otra perspectiva de la distribución del mapa en el museo

De esta manera, obtenemos que la distancia máxima aproximada que tendría que enfocar el teléfono desde la plataforma hasta el proyector que se encuentra en la pared de enfrente es de 6,16 metros, medida que tendremos muy en cuenta en nuestras pruebas con la aplicación. Otro punto de importancia para la creación de la aplicación es que teníamos que trabajar con un cliente real, al que había que ir mostrando los avances que se iban realizando para que nos diese su aprobado, y que nos tenía que proporcionar la información a mostrar en la aplicación. Conociendo esta situación, desde el principio sabíamos que al depender de otras personas se podían producir retrasos en el proceso de desarrollo. Este retraso se podía incrementar también debido a que buena parte del desarrollo se debía hacer en el museo, el cual tiene un

horario muy restrictivo ya que sólo abre una tarde a la semana.

Teniendo en cuenta el contexto del problema que hemos planteado hasta ahora, la principal función de nuestra aplicación será el reconocimiento del mapa y la inserción de tecnología y contenidos, tanto virtuales como informativos, en el mapa mediante los mecanismos que nos proporciona Vuforia, la librería de realidad aumentada que elegimos usar.

En este capítulo y en los siguientes hablaremos y comentaremos aspectos sobre nuestros clientes del proyecto y colaboradores gráficos de la aplicación.

En primer lugar, conocimos a quien sería nuestro principal contacto dentro del mismo, Andrés Gutiérrez, arqueólogo y empleado del museo. Después, conoceríamos a Beatriz Robledo, étnologa del museo, que trabajaría conjuntamente con Andrés para proporcionarnos los contenidos de la aplicación. Ellos serían los clientes a los que haremos referencia en la presente memoria.

Como colaboradores gráficos, que se incorporarían después al proyecto, tenemos a Juan Francisco Román en cuanto al diseño 2D de elementos de la aplicación. Juan fue empleado del museo, pero no renovó su contrato de forma que sólo trabajo con nosotros durante un breve tiempo. Nos proporcionó diferentes elementos gráficos, como el logo de la aplicación, que iremos detallando durante este capítulo. Contamos también con la ayuda de Samuel C. Palafox, quien nos proporcionaría los elementos 3D de la aplicación, tal y como mencionaremos en los siguientes apartados.

## 4.2. Terminal de desarrollo

Como ya hemos comentado en el anterior capítulo, decidimos realizar el desarrollo de la aplicación con el teléfono Doogee Valencia DG800 con sistema operativo Android y versión KitKat 4.4.2. Será en este teléfono en el que nos basaremos para realizar la aplicación y en el cuál debe funcionar. Mostramos las especificaciones técnicas de dicho móvil en la Figura 4.3) (PCComponentes (2014)). La resolución de la pantalla más adecuada es la resolución de Doogee Valencia: WXGA Landscape (1280x800). Sin embargo, la aplicación está preparada para que soporte todo tipo de resoluciones, por lo que no habrá problemas de la aplicación ese sentido.

## 4.3. Primera iteración: prototipos iniciales

Esta primera iteración, finalizada el 1 de Noviembre 2014, está marcada por el desconocimiento que teníamos en cuanto al mapa, su entorno y los requisitos de los clientes del museo. Sólo conocíamos el problema, con lo cual

**Doogee Valencia DG800 – Especificaciones:**

- Pantalla: 4.5" QHD(960\*540) IPS
- Procesador
  - MT6582 (Quad core 1.3 Ghz Processor) Cortex A7
- SO: Andorid 4.4
- Soporte Dual sims doble modo de espera
- Chip de navegación por satélite GPS incorporado. Soporte A-GPS
- Memoria
  - Memoria Interna: 1GB RAM+ 8GB ROM
  - Memoria Externa: Micro SD card , Max 64 GB
- Cámara
  - Cámara trasera: 13.0MP
  - Cámara delantera: 8.0MP
- Dimensiones
  - Tamaño: 135 x 66.8 x 8.2mm
  - Peso 147 g
- Conectividad
  - WCDMA 850/2100
  - GSM 850/900/1800/1900
  - Bluetooth 4.0
  - Wi-Fi
  - WCDMA 850/2100
  - GSM 850/900/1800/1900
  - 1 x MicroUSB
  - 1 x Jack 3.5 mm
  - Memoria Externa: Micro SD card , Max 64 GB
- Batería: 2000mAh

Figura 4.3: Especificaciones del teléfono utilizado

necesitábamos realizar una serie de diseños con ideas diferentes, únicamente contando con las directrices de Guillermo como base para realizarlos. Posteriormente haríamos una primera visita al museo para conocer el mapa y a las personas con las que trabajaríamos durante todo el proceso de desarrollo. Antes de la primera visita al museo, y sin saber ni siquiera como era el mapa, realizamos unos prototipos en papel muy simples creando unos esquemas de lo que serían las pantallas principales. El objetivo de la creación de estos diseños era dar una idea al cliente de lo que podríamos hacer, y así poder enseñarle los prototipos en la primera reunión que tuviésemos. Empezando con el diseño de estos primeros prototipos no nos basamos en ninguna otra aplicación ya existente, ya que en realidad no sabíamos cuál era el tipo de

aplicación que íbamos a desarrollar (aplicación meramente informativa, juego, aplicación interactiva), ni las funcionalidades secundarias que iba a tener la aplicación. A partir de ahí, planteamos tres posibles opciones de interfaz (las imágenes de estos prototipos se pueden encontrar en el Apéndice A):

- **OPCIÓN 1.** Al pinchar sobre el muñeco, éste sólo te da información sobre la cultura a la que pertenece (Figura A.1).

Al entrar en la aplicación aparecerán los muñecos sobre el mapa mudo. Si se pincha sobre uno, se acerca la aplicación al muñeco y éste puede dar algo de información sobre la cultura y ofrecer un enlace para poder leer más acerca de ello (Figura A.2).

Si el usuario no quiere más información, vuelve a la pantalla inicial (mapa mudo con los muñecos sobre él).

- **OPCIÓN 2.** Juego en el que el usuario tiene que adivinar a qué cultura pertenece el muñeco sobre el que se pincha. El muñeco puede dar pistas al usuario hasta que se acaben o hasta que el usuario decida dejar las pistas (Figura A.3 y Figura A.4).

Cuando se acaben las pistas o el usuario crea que ya sabe la respuesta, aparecerá el mapa con los muñecos y el usuario tendrá que arrastrar el muñeco a donde crea que pertenezca. Tanto si es correcto como si es incorrecto, aparecerán mensajes informando al usuario de lo que ha pasado. Si es correcto, el muñeco se quedará en el sitio donde el usuario lo ha colocado. Si es incorrecto, el muñeco volverá al lugar desde el que fue arrastrado (Figura A.5).

- **OPCIÓN 3.** La primera idea es empezar con una pantalla en la que expliquemos en qué consiste el juego para que el usuario tenga certeza del objetivo del mismo. Una vez pasada esta pantalla directamente aparecería la cámara con la cual tendrías que enfocar el mapa de América para que comience el juego. Consistiría en una especie de trivial, mediante el cual tienes un número X de preguntas por las cuales recibes las N piezas para completar el mapa. Una vez completes el mapa, el juego se ha completado y el jugador recibe su recompensa y se le pide que vuelva a enfocar sobre el mapa de América y ahora sobre él aparecerán muñecos y texturas haciendo uso de la RA. Pinchando en cada muñeco podrás obtener más información sobre cada cultura o región del mapa (Figura A.6).

Después del diseño de estos primeros prototipos realizamos la primera visita al museo de América donde nos vamos a reunir por primera vez con Andrés Gutiérrez, que nos va a enseñar el mapa donde vamos a desarrollar la aplicación y ejercerá de cliente durante todo el proyecto.

Mostrándole los primeros prototipos en papel realizados, Andrés se muestra encantado como primera idea, pero nos exige varios cambios en la misma, como por ejemplo que los personajes de la aplicación adquieran más protagonismo, es decir, que ocupen buena parte de la pantalla. Además le exponemos la limitación que tiene mostrar contenido en una aplicación para un dispositivo móvil ya que no podremos mostrar mucho texto debido al tamaño de la pantalla, con lo que Andrés no se muestra preocupado ya que entiende que una aplicación para un móvil cuanto menos texto tenga mejor y más llamativa será. Mientras estamos viendo estas funcionalidades, a nuestro cliente se le ocurre que además de la parte de RA en el museo tiene que haber otra parte de la aplicación con la que puedas hacer uso de ella desde fuera del museo, para hacer así más usable la aplicación. Para ello decidimos que en esa parte se haga realidad aumentada sobre un mapa de América impreso en un folio DIN A4 en blanco y negro para facilitar a la gente su impresión. Como no puede ser cualquier mapa, éste estará disponible para su descarga desde la página web oficial del museo.

La primera visita al museo nos dio las claves principales de cómo debía ser la orientación de la pantalla del dispositivo. Pudimos observar el mapa y enseguida vimos que era necesario que la pantalla del dispositivo fuese apaisada (*landscape*): el mapa es muy grande, bastante más largo que ancho, con lo que si el móvil o dispositivo adquiere orientación horizontal, se gana en campo de visión. Si lo hubiésemos diseñado vertical, mucho espacio hubiera estado totalmente desaprovechado, y para los usuarios hubiese sido una experiencia mucho más incómoda de lo necesario. Viendo el tamaño del mapa, descartamos cualquier posibilidad de puzzle o juego con la propia imagen del mapa, ya que no es posible enfocar el mapa completo con la cámara.

Con toda la información recogida, necesitamos realizar un prototipo más fiel a como lo quiere el cliente, con los nuevos requisitos incluidos en él. Además, empezamos a pensar opciones para usar la realidad aumentada en el mapa del museo.

## 4.4. Segunda iteración

En esta iteración, finalizada el 10 de noviembre de 2014, decidimos realizar otros prototipos en paralelo, dos cada uno, para poder obtener lo que mejor nos parezca de ellos y unificarlos. Previamente vamos a realizar un estudio de la competencia, para observar qué tienen esas aplicaciones, para a partir de ahí hacer los prototipos y finalmente intentar converger en uno.

Además, después de haber visto por primera vez el mapa del museo, empezamos a pensar cuáles serían las mejores alternativas como marcadores.

En las siguientes secciones, detallamos estas alternativas de marcadores y el estudio de la competencia, para finalmente explicar cuáles fueron los prototipos creados en esta iteración.

#### 4.4.1. Alternativas de colocación de los marcadores sobre el mapa

Una vez que tenemos en mente todo el conocimiento anterior, el objetivo que se pretende es captar el mapa del museo mediante marcadores, ya sea gracias a una imagen grande sobre la pared del proyector, a cubos, cilindros o conos sobre el mapa o usar códigos estilo QR. De esta manera, localizaríamos las zonas donde colocar el contenido virtual. Sin embargo, en este punto tenemos que dejar abierta la posibilidad de qué marcador utilizar ya que la solución que se utilizará finalmente deberá establecerse a partir de las opciones que les parezcan bien a nuestros clientes. Además, nos encontramos con los problemas que ya hemos mencionado: la iluminación de la sala y sobre todo la distancia.

Entre las soluciones que planteamos y que creímos factibles se encuentran las siguientes:

1. Poner sobre el mapa figuras simples (cubos, cilindros, conos o cajas) con alguna imagen en sus caras que sea descriptiva de la civilización a la que representan y, ya una vez detectada esta imagen, mostrar virtualmente algún individuo de esa civilización o algo característico que permita obtener a partir de ahí más información.
2. Colocar sobre el mapa 7 cubos, cada uno con una letra de la palabra América, ya que pensamos que esto sería fácil de enfocar e identificar por la cámara del dispositivo. Además podríamos hacer algún tipo de juego colocando objetos virtuales dentro de las cajas, ya que esta funcionalidad es perfectamente compatible con Vuforia.
3. Poner sobre la pared de enfrente, donde se encuentra el proyector, algún código QR, alguna imagen o logotipo para, una vez se consiga enfocar esta imagen, tener el punto de referencia donde colocar cada personaje virtual sobre el mapa. En esta opción en seguida nos planteamos que fuese posible que los objetos virtuales vibrasen debido a la distancia de la imagen.
4. Colocar marcadores del estilo de los códigos QR sobre el mapa.
5. Si hubiera un dispositivo (tipo tablet, por ejemplo) sobre la barandilla que rodea el mapa y éste estuviera siempre fijo solo permitiendo movimientos laterales, podríamos poner los objetos virtuales directamente

sobre el mapa sin necesidad de usar ningún tipo de marcador, ya que el dispositivo se encontraría siempre en el mismo sitio. Esta es sin duda la mejor opción para el proyecto, puesto que al estar el dispositivo sin moverse, los muñecos siempre estarían bien localizados y la respuesta de la aplicación siempre sería buena por lo que el usuario no tendría problemas en el uso de la aplicación (como que la cámara de su móvil no enfoque bien, etc).

#### 4.4.2. Estudio de la competencia

Vamos a observar tres de las aplicaciones más descargadas del momento y dos aplicaciones relacionadas con museos para observar e intentar coger lo mejor de cada una de ellas, centrándonos en lo meramente visual y en el diseño. Para ello nos hemos fijado en las siguientes aplicaciones:

- **Madrid Metro|Bus|Cercanías:** (Figura 4.4)

URL: [Google Play](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.dmp.free.madrid&hl=es)<sup>1</sup>

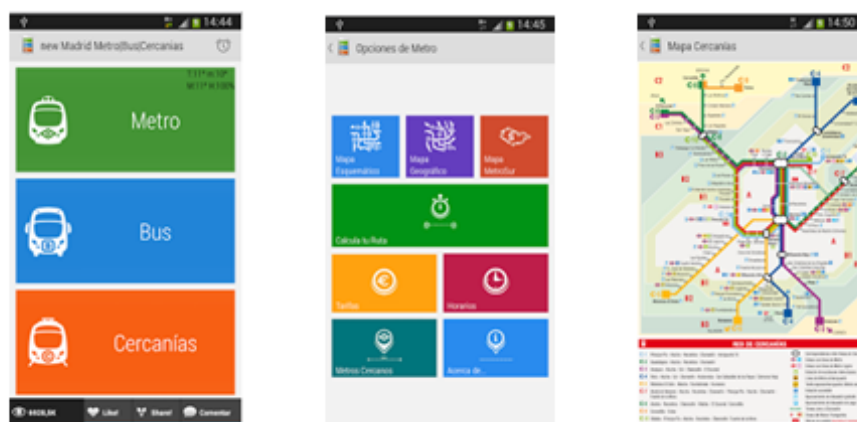


Figura 4.4: Imágenes de la aplicación Madrid Metro|Bus|Cercanías

Descripción: hemos decidido fijarnos en esta aplicación porque ha tenido gran acogida entre la población madrileña. Destaca su interfaz sencilla y colorida con botones simples. Además, contiene la información necesaria para los usuarios, sin incluir elementos irrelevantes.

---

<sup>1</sup><https://play.google.com/store/apps/details?id=com.dmp.free.madrid&hl=es>

- **Teslapedia:** (Figura 4.5) URL: Google Play<sup>2</sup>



Figura 4.5: Imágenes de la aplicación Teslapedia

Descripción: Teslapedia es una aplicación que complementa a la publicación “Teslapedia. Vida e inventos de Nikola Tesla”. A través de la cámara del dispositivo, mediante realidad aumentada, el usuario disfruta de contenidos adicionales como cuadernos interactivos, vídeos y animaciones en 3D. Nos gusta por su sencillez y claridad de la interfaz.

- **Youtube:** (Figura 4.6) URL: Google Play<sup>3</sup>

Descripción: la aplicación de Youtube para Android es una aplicación bien diseñada para la gran multitud de opciones que se encuentran recogidas en la interfaz. Precisamente por eso, decidimos inspirarnos en ella, fijándonos únicamente en la disposición de botones para mostrar todas las posibles actividades del usuario y obviando las funcionalidades de red social de Youtube. Principalmente nos hemos fijado en la organización de las pestañas, su estilo y el menú desplegable de configuración.

- **Museo Thyssen:** (Figura 4.7) URL: Google Play<sup>4</sup>

Descripción: la aplicación para el museo Thyssen nos llama la atención especialmente por el menú de iconos que ofrece la tienda. Es un formato de menú intuitivo y muy directo que se ajusta perfectamente a las necesidades de nuestra aplicación.

<sup>2</sup><https://play.google.com/store/apps/details?id=com.unit.tesla&hl=es>

<sup>3</sup><https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.android.youtube&hl=es>

<sup>4</sup><https://play.google.com/store/apps/details?id=com.dilenio.thyssen&hl=es>



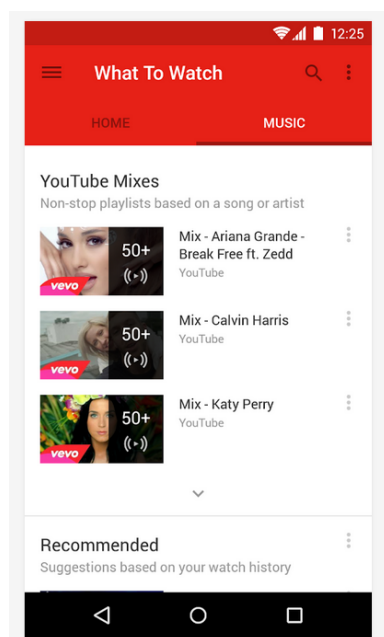


Figura 4.6: Imágenes de la aplicación Youtube



Figura 4.7: Imágenes de la aplicación Museo Thyssen

- **Fever:** (Figura 4.8) URL: Google Play<sup>5</sup>

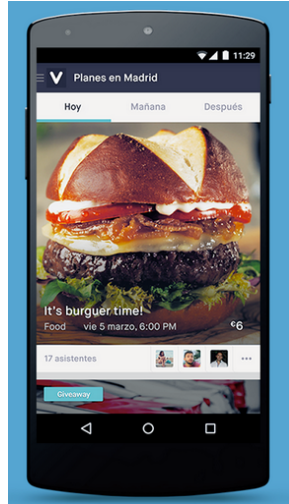


Figura 4.8: Imágenes de la aplicación Fever

Descripción: Fever es una aplicación que no tiene nada que ver con la que nosotros desarrollamos. Sin embargo, nos ha llamado la atención su interfaz: limpia, clara y muy directa. Esta sensación es la que nos gustaría crear en nuestra propia interfaz, ajustándose a las necesidades del Museo de América. Al igual que nos ocurría con Youtube, el menú desplegable y las pestañas nos parece una buena opción de diseño limpio.

#### 4.4.2.1. Conclusiones del estudio

Con respecto a las aplicaciones estudiadas nos hemos quedado con dos opciones de interfaz completamente opuestas. Por un lado, se encuentra la interfaz como la aplicación de transporte, con una estructura árbol donde la cúspide es el menú principal con las distintas opciones. Por el otro lado, se encuentra Teslapedia donde el menú está continuamente accesible desde un lateral en todas las pantallas. Del resto de aplicaciones estudiadas, hemos extraído pequeños detalles, los que más se podrían adaptar a las necesidades de nuestros posibles usuarios.

#### 4.4.3. Diseño paralelo de prototipos en papel

Para la creación de los segundos prototipos, nos dejamos influenciar principalmente por las dos aplicaciones que hemos mencionado antes: Teslapedia

---

<sup>5</sup><https://play.google.com/store/apps/details?id=com.feverup.fever&hl=es>

y Madrid Metro | Bus | Cercanías. De ambas aplicaciones podemos destacar la interfaz sencilla e intuitiva del menú principal. En esta etapa, ya sabíamos que una parte de la aplicación estaría destinada al mapa del museo y que tendríamos otra parte de la aplicación con la que los usuarios podrían disfrutar de la misma experiencia utilizando simplemente una hoja de papel. Teniendo esto en cuenta, necesitábamos crear un menú para poder acceder a estos apartados y a otras ventanas, de forma que el menú principal podría estar formado por los siguientes apartados:

- Realidad aumentada en el Museo de América.
- Realidad aumentada en Casa.
- Información sobre el Museo de América.
- Información sobre los desarrolladores de la aplicación.
- Ayuda/Información.

Definimos entonces la idea para la funcionalidad principal de la aplicación, en la cual luego iremos añadiendo más funcionalidades, como por ejemplo, un juego.

- Primero, tendríamos una pantalla de explicación de cómo funciona la aplicación, muy esquemáticamente para no confundir al usuario y sobre todo de forma que el usuario no le dé a siguiente sin haber entendido cómo funciona la aplicación (Figura 4.9).
- Luego directamente se pasaría a acceder a la cámara de realidad aumentada, el usuario enfocaría al mapa y es ahí donde se ven los personajes sobre el mapa (independientemente del tipo de marcador que usemos).
- El usuario entonces pinchará sobre un personaje e inmediatamente aparecerá una nueva pantalla: el personaje de cerca y un recuadro. Además tendrá que haber un botón “Volver”, para poder acceder a pantallas anteriores. En el recuadro podrá aparecer:
  - La información detallada de la cultura: características, época, zona, dónde se puede encontrar esta cultura en el museo, etc.
  - Unos enlaces que permitan llegar a una nueva información más detallada. Por ejemplo, el usuario puede pinchar sobre características y aparecerá una nueva pantalla con esa información y un botón “Volver”.

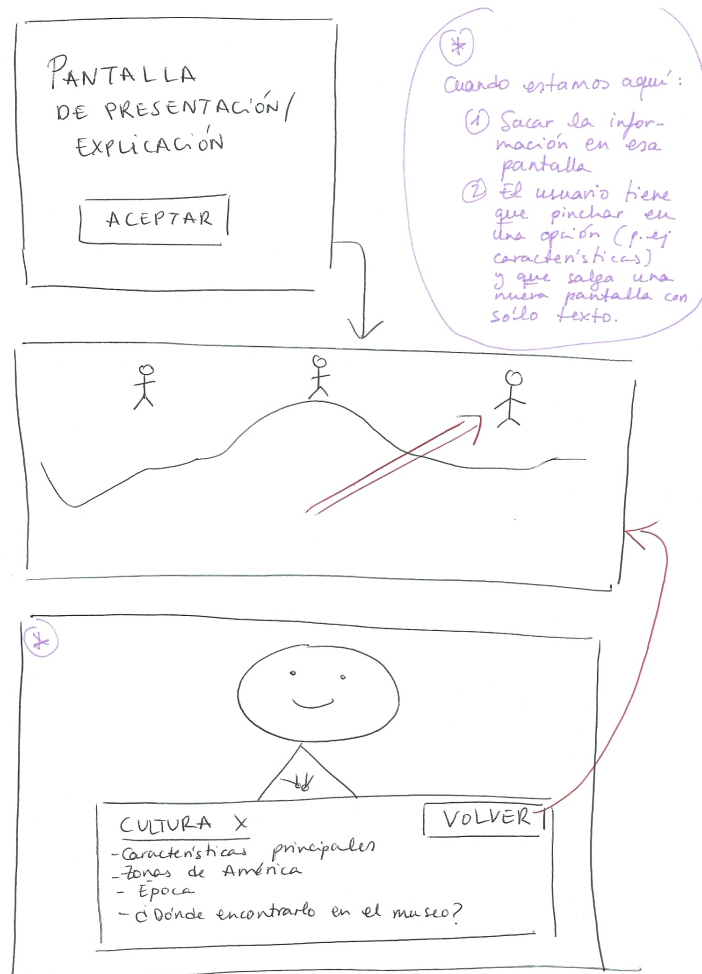


Figura 4.9: Prototipo en papel versión horizontal

Basándonos en esto y en las aplicaciones referenciadas anteriormente, realizamos dos prototipos cada uno, independientemente el uno del otro, para no influenciarnos. Uno de estos prototipos estará basado en Teslapedia y el otro en Madrid Metro | Bus | Cercanías. Las imágenes de los prototipos se pueden ver en las Figuras 4.10, 4.11, 4.12 y 4.13.

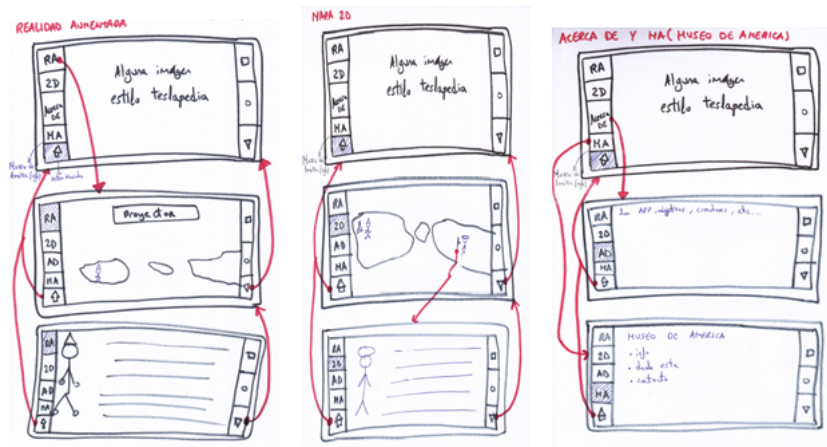


Figura 4.10: Prototipo 1 influencia de Teslapedia

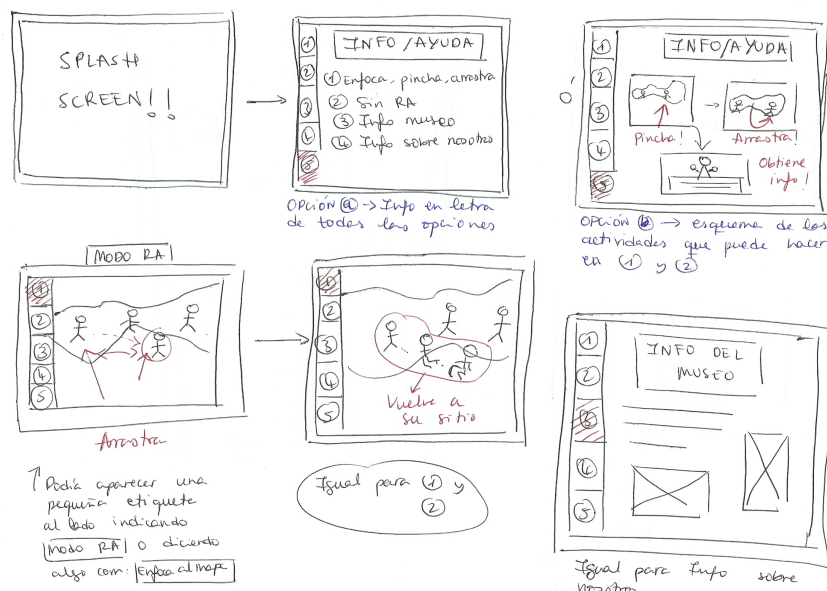


Figura 4.11: Prototipo 2 influencia de Teslapedia

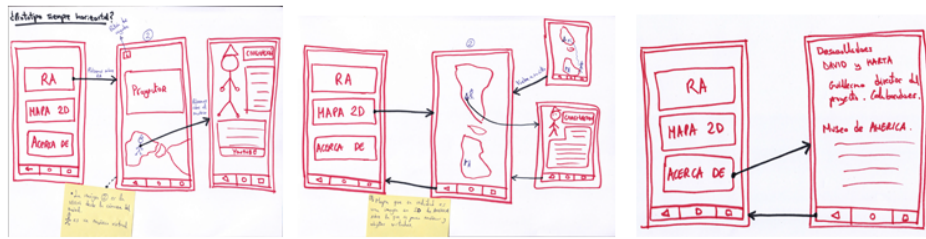


Figura 4.12: Prototipo 3 influencia de Madrid Metro | Bus | Cercanías

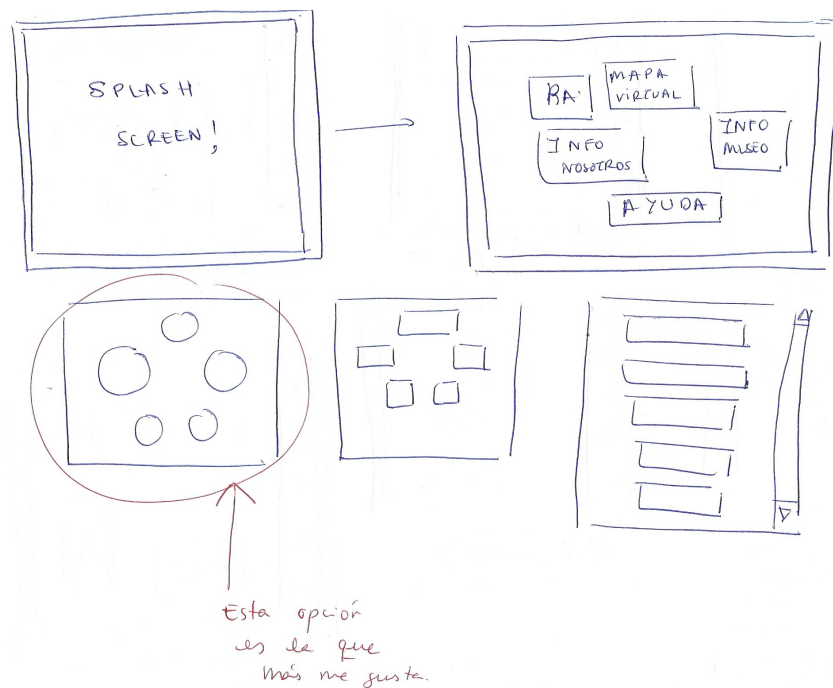


Figura 4.13: Prototipo 4 influencia de Madrid Metro | Bus | Cercanías

#### 4.4.3.1. Unificación de prototipos en papel

Después de la creación de los prototipos anteriores, necesitábamos concretar un prototipo que contemplase el flujo de actividad de la aplicación, así que integramos los dos prototipos anteriores basados en Teslapedia en un nuevo prototipo unificado. En ese momento creímos que la opción influenciada por Teslapedia sería la o más adecuada. El resultado fue el que se muestra en las Figuras 4.14 y 4.15).

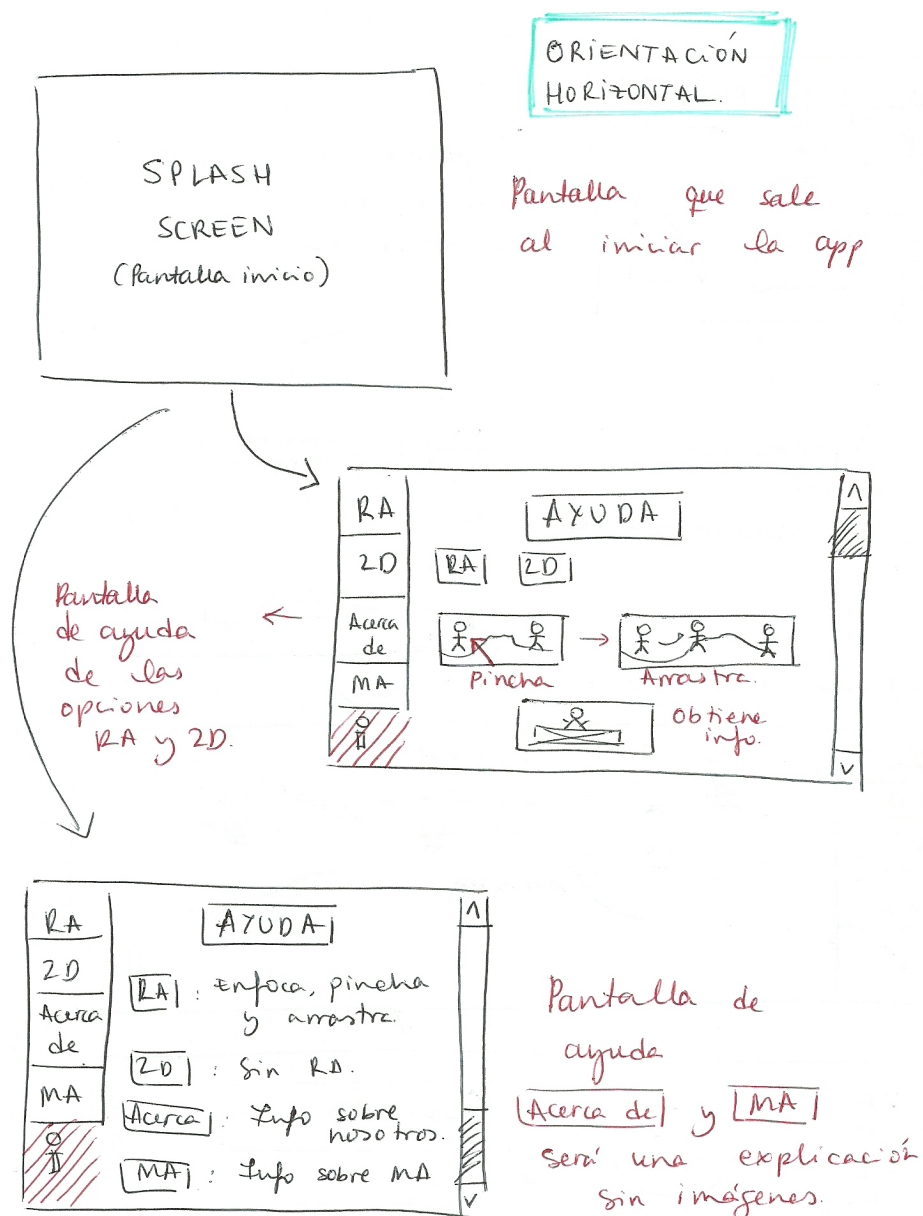
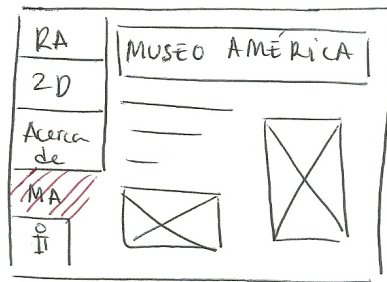


Figura 4.14: Prototipo conjunto desde menú principal



Información  
del museo  
de América.

Información  
acerca de  
los desarrolladores



Pantalla RA = Pantalla 2D.

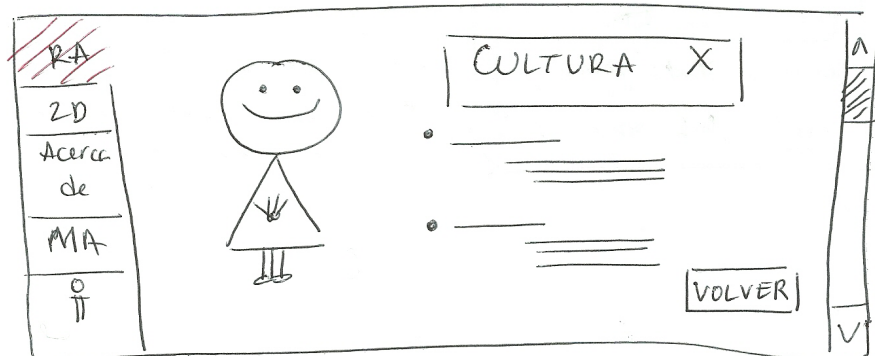
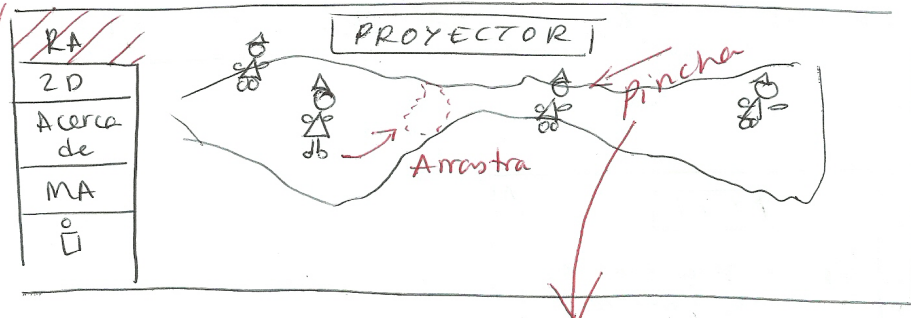


Figura 4.15: Prototipo conjunto desde realidad aumentada



El objetivo de la realización de estos prototipos era, como ya se ha mencionado anteriormente, crear el flujo de actividad de la aplicación para mostrársela al cliente y saber si es lo que de verdad quería y necesitaba.

Una vez realizado el proceso, decidimos ir a enseñarle los prototipos al cliente para ver su opinión y continuar trabajando en el camino correcto. Después de ver los prototipos y valorarlos, el cliente saca las siguientes conclusiones:

1. Le gustan las dos opciones de colocación de los menús, por lo que nos lo dejan a nuestra elección.
2. Nos indican un cambio importante en la aplicación: a partir de ahora los personajes que se van a mostrar van a ser representativos de la cultura más destacada del área cultural al que pertenecen. Por lo que al pulsar sobre cada uno de ellos mostraremos la información del área cultural y posteriormente habrá un apartado donde se explicará esa cultura en particular. Esto nos obliga a realizar algunos cambios en el diseño.
3. Además para cada uno de esos personajes habrá contenido multimedia, como imágenes, vídeos, enlaces, etc.
4. Finalmente acordamos que serán cuatro áreas culturales, dos en sudamérica, una en centroamérica y la última en norteamérica.

Tras la reunión, intentamos adaptar el prototipo creado en esta iteración para incluir el nuevo concepto de área cultural, de forma que con el objetivo de clasificar este nuevo contenido y ordenar los botones de manera que se vea más limpia la interfaz, surge este último prototipo (Figura 4.16).

Exceptuando el modelo de menú que en ese momento habíamos elegido, quedaban por concretar las interfaces de todas las ventanas internas de la aplicación, es decir, cómo serían las interfaces de los apartados de realidad aumentada, y los apartados informativos sobre el museo y los desarrolladores. Este diseño se empezaría a determinar cuándo tuviésemos contenido proporcionado por el museo, aunque fuese de forma esquemática, ya que dependíamos de eso para organizar la información, y las actividades que el usuario podría realizar. Hasta ese momento lo único que se había hablado era incluir varios botones que diesen lugar a nuevas ventanas superpuestas, sin embargo no nos convencía demasiado la idea porque podría haber demasiadas ventanas abiertas que quedarían solapadas en la pantalla, con lo que el usuario tendría que ir cerrándolas continuamente.

La ventana de ayuda quedaba también por concretar, tanto la colocación de la opción, como si esta información se mostraría con imágenes o con letras. En principio, determinamos que el diseñador de elementos en 2D, Juan,

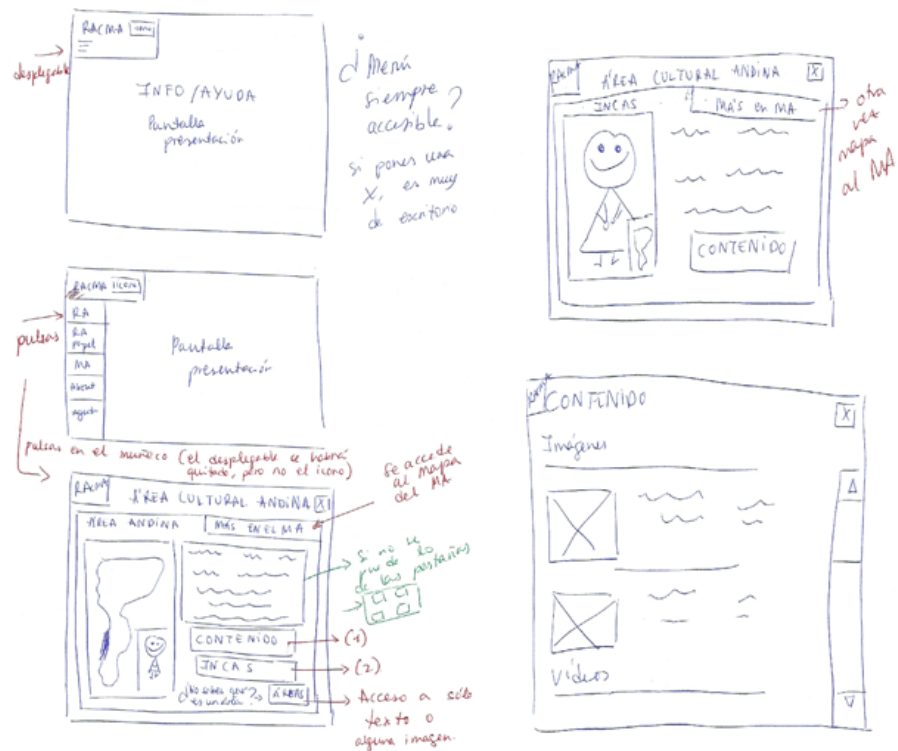


Figura 4.16: Prototipo tras reunión

se encargaría de realizar la infografía.

Además, teniendo en cuenta que hasta ese momento habíamos decidido optar por el menú lateral, debíamos pensar en cómo sería la vista inicial que verían los usuarios al iniciar la aplicación. Entre nuestras opciones se encontraban incluir una imagen fija, como si fuese una portada, con el menú a la izquierda (al estilo de Teslapedia), o directamente tener la cámara de RA siempre activada, también con el menú siempre fijo a la izquierda de la pantalla. Ninguna de las dos opciones nos parecía buena.

Para la opción de incluir una imagen fija con el menú a la izquierda se nos planteaban varios problemas. Por un lado, ¿esa imagen cuál sería, una imagen decorativa o la pantalla de “Ayuda”? ¿Cómo puede acceder a esa imagen el usuario? ¿Sería necesario incluir una nueva opción en el menú para esa pantalla inicial?

La segunda alternativa, aunque la pensáramos por encima, nunca fue real-

mente una opción, ya que mantener la cámara activada desde el inicio de la aplicación, era algo que supondría un gasto de batería en el dispositivo totalmente innecesario. Por todas estas cuestiones, empezamos a creer que la opción del menú influenciado por Madrid Metro | Bus | Cercanías sería una opción más eficaz.

Por último, tuvimos en mente realizar una pantalla Splash Screen, incluyendo el logo de la aplicación o una imagen identificativa.

Tras esta reunión y creación de prototipos, podemos establecer los requisitos que tendrá nuestra aplicación:

- Detección del mapa de América, ya sea directamente el mapa, o mediante el reconocimiento de imágenes, códigos QR, figuras simples o formas que permitan detectar que el mapa está ahí.
- Implantación de cuatro modelos 3D encima del mapa de América que se pondrán sobre el mapa físico del museo así como sobre el mapa en papel.
- Reconocimiento de un mapa de américa en tamaño Din A4 para la otra parte deseada por el museo.
- La aplicación tendrá un menú principal para acceder a los cuatro apartados disponibles en la aplicación, uno para informarse sobre el museo, otro en el que se detallarán los nombres de los participantes en el proyecto, y los dos apartados de RA.
- Un apartado de ayuda para evitar que el usuario se pierda en la aplicación cuando no entienda lo que tiene que hacer.
- Una pantalla donde se describirá el área cultural al que pertenece el muñeco 3D.
- Otra pantalla donde se detallará la cultura en particular dentro de ese área cultural que representa el muñeco 3D.
- Galerías de imágenes o contenido multimedia para el área cultural y para la cultura más importante del área.
- Pantalla de localización en el museo de piezas representativas de cada área cultural.
- Pantalla de localización en el museo de los objetos expuestos en la galería.

## 4.5. Tercera iteración

En este momento del proyecto, se incorporan al mismo por parte del museo Beatriz Robledo que se encargará de realizar al menos dos áreas culturales y un diseñador en prácticas, Juan Román, que nos intentará ayudar con el logo de la aplicación así como con las imágenes a usar como marcadores y las infografías. Además, contaremos con la ayuda de Samuel C. Palafox, diseñador gráfico de modelos 3D, que nos proporcionará los modelos vikingos que usaremos en los primeros prototipos de la aplicación. Posteriormente, le pediremos a Samuel los personajes en 3D de las culturas para la versión final y nos los facilitará en futuras iteraciones.

En esta iteración, finalizada el 18 de diciembre de 2014, seguíamos con las dudas con respecto al tipo de menú que debía tener la aplicación, que nos surgieron al finalizar la iteración anterior, por lo que decidimos empezar a hacer dos tipos de prototipos en paralelo. Cada uno de estos prototipos ahondaría en cada uno de los diferentes tipos de menús, y cada uno de los integrantes de nuestro grupo desarrollaría un prototipo por separado. De esta forma, acabaríamos esta fase de diseño con dos prototipos diferentes, uno con el menú desplegable y el otro con el menú de botones. Además, creamos los prototipos en Unity, materializando las ideas que teníamos en papel en primeras versiones de la aplicación, sentando de esta manera la base del proyecto.

En esta parte del desarrollo decidimos centrarnos en el apartado de usar la realidad aumentada desde casa ya que nos sería más sencillo realizar las pruebas porque no tendríamos necesidad de ir hasta el museo y, sobretodo, porque esta primera base nos serviría también para la opción en el museo, ya que el contenido informativo, menú, botones, etc. sería el mismo en ambos apartados. Por tanto, avanzábamos casi en paralelo en ambas opciones de realidad aumentada.

Llegados a este punto y debido a que era necesario tener claro un nombre de la aplicación para poder generar todo el contenido multimedia, proponemos que ésta se llame “Realidad Aumentada de las Culturas del Museo de América (RACMA)” y tras comunicárselo al cliente, nos da su aprobación para seguir adelante bajo esas siglas.

En ese momento, nos ponemos a trabajar en el apartado de realidad aumentada desde casa, donde lo primero que necesitamos saber es qué mapa de América impreso en un folio de tamaño DIN A4 íbamos a utilizar, alguno sencillo y que a la vez se pueda usar como marcador. Para ello proponemos el siguiente (Figura 4.17).



Figura 4.17: Mapa en papel con límites políticos

Tras enseñarle a nuestro cliente el mapa nos comentan que les parece muy bien la elección ya que es un mapa muy definido y claro, aunque nos indican que el mapa no debe ser político, por lo que sobran las divisiones territoriales. Finalmente el mapa que vamos a usar será el siguiente (Figura 4.18). A



Figura 4.18: Mapa en papel sin límites políticos

continuación, detallaremos los prototipos creados en paralelo, uno basado en Teslapedia (menú desplegable) y otro en la aplicación de transporte público

de Madrid (menú de botones).

#### 4.5.1. Prototipo basado en menú de botones

El prototipo resultante basado en el menú de botones, que sería el que finalmente nos serviría como modelo base para la aplicación final, es el siguiente:



Figura 4.19: Menú principal Prototipo basado en menú de botones

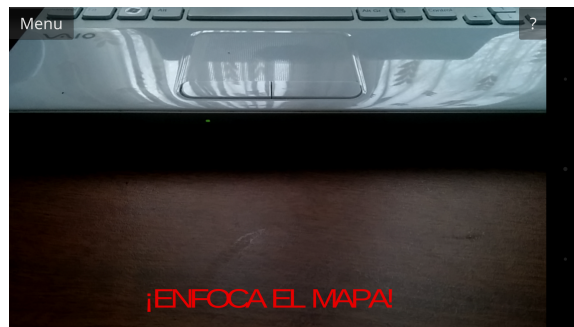


Figura 4.20: Prototipo menú de botones: Aviso de ayuda al usuario

El menú principal (Figura 4.19) inicialmente en color rojo debido a que el logo del museo tiene una tonalidad similar, es el lugar desde el cual se pueden acceder a las distintas pantallas de la aplicación. Centrándonos en el apartado de casa, si pulsamos dicho botón veremos la visión de la cámara (Figura 4.20) junto con un mensaje de ayuda que nos indica que enfoquemos sobre el mapa. Si lo hacemos veremos aparecer sobre el mismo objetos y/o personajes en tres dimensiones (Figura 4.21). Una vez que pulsamos sobre un muñeco iremos a la pantalla que nos muestra información sobre el área cultural al que pertenece la cultura que representa el personaje pulsado (Figura 4.22). En esta pantalla, si pulsamos el botón central que es el correspondiente a

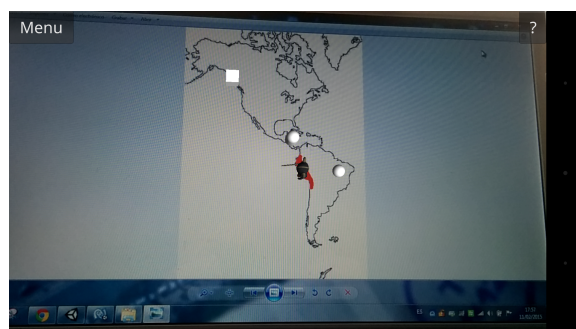


Figura 4.21: Prototipo menú de botones: RA desde casa



Figura 4.22: Prototipo menú de botones: pantalla de un área cultural



Figura 4.23: Prototipo menú de botones: pantalla de la cultura con barra de scroll

la cultura más importante de ese área cultural, vamos a la ventana donde entramos más en detalle sobre esa cultura en concreto (Figura 4.23).

Los principales elementos de este prototipo son el menú principal basado botones que aparece directamente al iniciar la aplicación y los botones de

acceso a más información que aparecen en la pantalla del área cultural. En esta versión, además se incluyó un componente script en la cámara que lanza un mensaje al usuario cuando el marcador no está siendo enfocado correctamente y que desaparece cuando se ha conseguido detectar (Figura 4.20). Es uno de los mejores aspectos de este prototipo porque gracias a esta funcionalidad el usuario está en constante conocimiento del estado de la aplicación.

Analizando el prototipo, pudimos observar que tiene aspectos bastante mejorables:

- Inconsistencia interna de la aplicación: en diferentes ventanas de la aplicación tenemos diferentes formas de representar el botón atrás: se ha representado mediante una X (Figura 4.22) o a través de la palabra “Volver” (Figura 4.23). Puede producir confusión en el usuario, que se puede perder y pensar que accede a diferentes funcionalidades.
- Scroll algo incómodo y no intuitivo, ya que la barra es demasiado delgada (Figura 4.23).
- Botones en el área cultural algo desubicados ya que se encuentran debajo de la imagen del área (Figura 4.22).
- Calidad de las imágenes y el diseño en general.

#### 4.5.2. Prototipo basado en un menú desplegable

El prototipo basado en el menú desplegable y que tiene una ordenación de la información distinta, destacando principalmente el menú basado en pestañas, es el siguiente:



Figura 4.24: Prototipo menú desplegable: haciendo uso de la realidad aumentada con el menú plegado



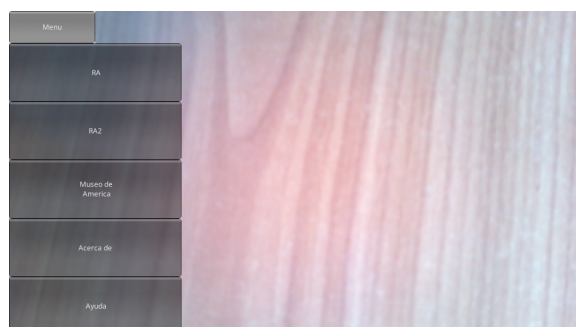


Figura 4.25: Prototipo menú desplegable: Menú principal desplegado

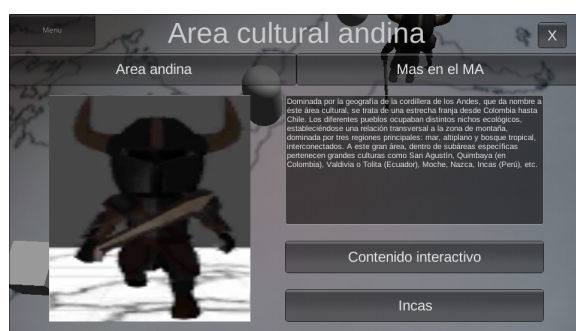


Figura 4.26: Prototipo menú desplegable: Ventana del área cultural

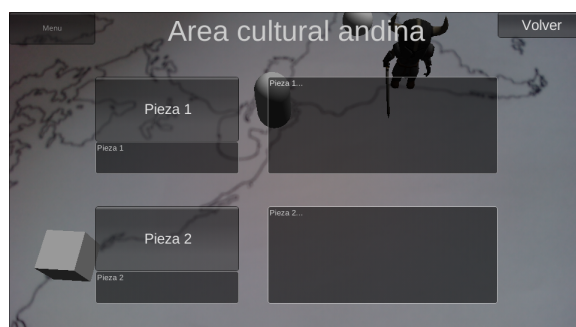


Figura 4.27: Prototipo menú desplegable: Galería de imágenes del área cultural

En este prototipo la aplicación se inicia directamente con la cámara de RA en marcha (Figura 4.24) con el menú desplegable siempre fijo a la izquierda (Figura 4.25). Si presionamos sobre uno de los objetos o personajes en tres dimensiones podemos ver la ventana del área cultural (Figura 4.26). En esta pantalla si presionamos sobre el contenido multimedia veremos una galería de imágenes (Figura 4.27). La pantalla de la cultura más importante será similar a la del área cultural pero cambiando la información.

Como en la otra versión, aquí tenemos también características mejorables:

- Inconsistencia interna: volvemos a encontrarnos la X (Figura 4.26) y la palabra “Volver” (Figura 4.27) para el botón de “Atrás”. Es un error que había sido arrastrado de la primera base de la aplicación y de la cual partíamos ambos integrantes en el desarrollo paralelo de los prototipos.
- Diseño estético en general.
- Consumo excesivo de batería al tener en todo momento la cámara en funcionamiento y falta de diferenciación entre ambas opciones de realidad aumentada porque al inicializarse la aplicación con una ya activada por defecto, deja al usuario con la duda de donde se encuentra en ese momento.

Aunque en un principio esta opción era el menú que íbamos a implantar ya que nos pareció la mejor idea, al interactuar con él nos dimos cuenta de que nos resultaba algo incómodo, ya que el menú se superponía sobre todo lo que teníamos en pantalla. No nos acababa de convencer. Por lo tanto, el menú elegido sería el de botones.

Sin embargo, el diseño de las pestañas dentro de la ventana de área cultural nos pareció buena idea y pensamos que quizá se podría incorporar a versiones futuras, aunque habría que tener cuidado de diseñarlo bien, para que el usuario tuviera la percepción de que son pestañas diferentes. Otro aspecto positivo de este elemento es que reduce la cantidad de botones en la parte inferior de la pantalla, con lo que queda más limpia la interfaz. A pesar de esto, como veremos más adelante, nunca llegamos a incluirlo en ninguna de las iteraciones.

El diseño de la galería de imágenes de este prototipo sí decidimos añadirlo a la versión siguiente, porque es un diseño que permite leer a primera vista las características de cada imagen. Esta ventana es, por tanto, la base de lo que sería la galería de imágenes final de la aplicación.

Por tanto, para el siguiente prototipo, debíamos crear todas las ventanas de la aplicación teniendo en cuenta todo lo anterior.

## 4.6. Cuarta iteración

La fecha en la que finalizamos esta iteración fue el 16 de enero de 2015. En esta fase realizamos un prototipo conjunto en el que intentamos integrar lo mejor de cada una de las opciones que hemos visto en el apartado anterior, teniendo en cuenta que el menú base sería el de los botones y la ventana de la galería de imágenes sería la del prototipo del menú desplegable. Las ventanas de información de las áreas culturales y de las culturas estarían basadas en ambos prototipos, ya que en ambos la idea era la misma.

Para esta versión ya contamos con las infografías de ayuda al usuario que nos hizo Juan, además del logotipo de la aplicación. Sin embargo, como iremos viendo más adelante, en varias ocasiones tendremos que modificar parte de las infografías por nuestra cuenta, ya que Juan dejará el proyecto en marzo porque su contrato con el museo finaliza. Además, cambiamos el color de fondo de la aplicación a azul, ya que es un color que nos parecía más suave y agradable para mantener la vista fija en la pantalla. Cambiamos también la ubicación del botón “Atrás” a la esquina superior izquierda y pusimos un icono “<”, para mantener la consistencia con otras aplicaciones de Android e iOS. Estos cambios fueron aprobados por el cliente, que quedó satisfecho con nuestras ideas.

Por parte del cliente, se nos pide una nueva funcionalidad: incluir un botón donde se coloque información general de lo que es un área cultural. Decidimos colocarlo en la esquina superior derecha en la propia escena donde los muñecos están posados sobre el mapa, para que el usuarios tenga esta información lo más accesible posible. Este botón será diferenciado del resto ya que se identificará con una “i” de información.

Una vez generado el prototipo, a medida que lo observábamos nos encontrábamos errores que faltaban por arreglar, entre los que se encuentran:

- Colocar un icono de Atrás más intuitivo y hacerlo opaco (Figura 4.28).
- Es necesario dar más calidad a las infografías que se ven algo borrosas, además de ponerlas a pantalla completa (Figura 4.28).
- Recolocar botones que se superponen con el texto y botones que no están colocados en su lugar correspondiente (Figura 4.29 y Figura 4.30).
- Mejorar la galería de imágenes haciendo las imágenes algo más grandes de forma que parezca más una galería y no unas imágenes puestas al azar. Además, añadir un botón para encontrar el objeto en el museo, sustituyendo las siglas “MA”, que estaban puestas provisionalmente (Figura 4.31).

- Agrandar los recuadros de los textos para que no se corten los contenidos (Figura 4.32).



Figura 4.28: Infografía para ayudar a usar la aplicación



Figura 4.29: Ventana del área cultural



Figura 4.30: Ventana de información del museo



Figura 4.31: Galería de imágenes

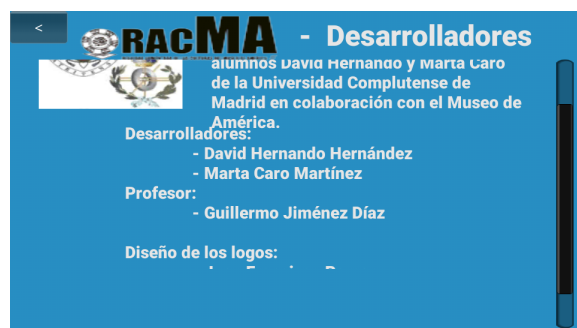


Figura 4.32: Ventana de información sobre los desarrolladores

Durante esta etapa también nos planteamos incluir modelos en 3D de plantas o piedras para dar sensación de que los muñecos se movían por un ambiente más natural. La muestra de lo que queríamos realizar la tenemos en la siguiente captura (Figura 4.33). Al final, decidimos no incluirlo porque los



Figura 4.33: Proposición de visión de la cámara usando realidad aumentada

arbustos llenaban demasiado la escena de elementos virtuales, y quitaban el protagonismo a los muñecos, que son los elementos que realmente deben llamar la atención del usuario. Además, la aplicación pesaba demasiado: unos 60 MB.

Tras corregir los *bugs* de esta versión, organizamos con los clientes una nueva reunión para que puedan probar el prototipo, además de ver cómo hemos organizado la información y como queda el resultado. Su primera impresión es muy buena, les gusta mucho la interfaz y sobretodo les encanta ver un personaje en 3D casi como si lo pudieran tocar. Entre las cosas que nos piden cambiar se encuentran las siguientes:

1. Escalar los muñecos para que queden un poco más acordes al tamaño del mapa, eran demasiados grandes.
2. Hacer el botón de información que aparece en la parte superior derecha más intuitivo y llamativo.
3. Cambiar de alguna manera el fondo de la aplicación, para que no sea tan sencillo como lo era en ese momento: color azul mate.
4. Hacer el scroll más intuitivo y fluido o quitarlo directamente, excepto de la galería de imágenes dónde será siempre necesario.
5. Nos exigen que el muñeco en tres dimensiones se esté viendo continuamente en la pantalla.
6. Acordamos que cada galería de imágenes tendrá un máximo de cinco imágenes, junto con su título, descripción, su url de más información y un botón que muestre dónde encontrar la pieza dentro del museo. El acceso al enlace se proporcionará a partir de un botón con un icono de Google Chrome, para señalar al usuario la salida de la aplicación a una página web.
7. Cada pantalla tendrá un máximo de 420 caracteres para que sea de fácil lectura y quepa el texto en la pantalla del teléfono sin necesidad de usar un scroll.
8. Activar la funcionalidad del botón “Atrás” físico del móvil, para que los usuarios puedan usarlo si lo desean.
9. Añadir una nueva funcionalidad que permita ampliar las imágenes de la galería, de forma que si el usuario pincha sobre una imagen, la vea con más detalle.

## 4.7. Quinta iteración

En esta iteración, finalizada el 1 de marzo de 2015, además de incluir las funcionalidades especificadas por los clientes en la iteración anterior, vamos introduciendo en la aplicación el primer personaje en tres dimensiones

que pertenecerá a la aplicación final. Fue Samuel el que nos proporcionó el personaje, el cual era el correspondiente a la cultura inca. Anteriormente habíamos estado usando modelos de vikingos para realizar los prototipos.

En este momento, ya sabíamos que las opciones de marcadores dentro de la opción de RA en el museo estaban muy limitadas. Los clientes no permitían implantar objetos encima del mapa, y la opción de la tablet en la barandilla era muy costosa. Por lo que sólo nos quedaba como opción utilizar un *ImageTarget* como marcador, colocándolo o bien en la barandilla de la plataforma donde se colocarían los usuarios o bien debajo del proyector que está en frente de la misma.

Juan ya nos había proporcionado también varias opciones de la imagen que íbamos a utilizar como marcador, y al final, por consenso, elegimos la siguiente (Figura 4.34). Teniendo ya elegido cuál sería el marcador definitivo



Figura 4.34: Marcador utilizado en el museo

para la opción de RA en el museo, pudimos empezar a realizar pruebas para determinar cuál era la máxima distancia a la que se podía reconocer dicho marcador. Para ello, realizamos pruebas intentando enfocar el marcador desde distintas distancias. Las pruebas se realizarían primero en casa para tener una toma de contacto y comprobar que podía ser factible el reconocimiento desde la plataforma que se encuentra encima del mapa, y después en el museo, en cuanto se nos dio acceso para poder entrar siempre que necesitésemos trabajar in situ.

Un aspecto a tener cuenta es que en esta parte de la aplicación usaremos el *ExtendedTracking* de Vuforia debido a que las dimensiones del mapa van a provocar que haya momentos en los que perdamos de vista el marcador.

#### 4.7.1. Pruebas iniciales de toma de contacto

Debido a que para poder ir a hacer pruebas en el museo necesitábamos primero de una acreditación para poder entrar con nuestros equipos y teníamos que tener los medios necesarios para poder realizar las pruebas, como por ejemplo, el mural colocado en su sitio, decidimos hacer primero unas pruebas en casa como toma de contacto.

Para poder realizar las pruebas necesarias teníamos que buscar un lugar donde tuviéramos unas condiciones y situación similar a las que hay en el museo. Para ello, utilizamos una terraza donde colocamos una simulación del mural que íbamos a utilizar creándolo con cuatro hojas DIN A4. Como primera prueba pudimos observar que la distancia máxima a la que conseguíamos detectar el marcador era de unos cuatro metros aproximadamente. (Figura 4.35).

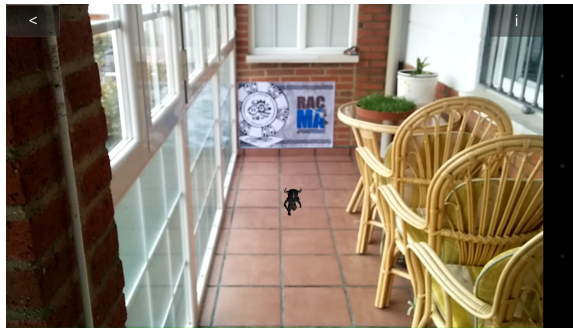


Figura 4.35: Prueba alejando el personaje 3D del marcador

Luego seguimos realizando pruebas colocando el personaje 3D a distancias más lejanas del propio mural.

Tras estas pruebas, determinamos que mientras el marcador esté a cuatro metros de la barandilla, la aplicación podrá detectarlo. Si está más lejos, en principio no será posible el reconocimiento. Este resultado nos preocupaba ya que hay que tener en cuenta que el proyector donde Andrés quería poner el marcador estaba a cinco metros de la barandilla y además es una sala muy oscura, lo que limita también el reconocimiento de las imágenes. Era necesario, por tanto, realizar pruebas en el museo para determinar cómo solucionar el problema.

#### 4.7.2. Pruebas en el mapa del museo

Tal y como hemos comentado anteriormente, para poder realizar las pruebas en el museo era necesario que nos diesen autorización especial para poder



acceder con ordenadores a las salas de exposición. Para ello, tras unas semanas de gestión se nos proporcionó acceso mediante previa identificación en recepción. Además, en la sala donde realizamos las pruebas se colocó el siguiente cartel donde se explicaba el proyecto que se estaba llevando a cabo (Figura 4.36). Para llegar a la solución óptima, con la cual cualquier dispo-



Figura 4.36: Cartel informativo sobre las pruebas del proyecto colocado en el museo

sitivo detectara perfectamente el marcador colocado en el mapa del museo, tuvimos que realizar distintas pruebas, que describimos a continuación:

1. **Primera prueba (Jueves 19/02/2015).** La primera posible solución para poder hacer uso de la realidad aumentada en el mapa del museo fue la de poner un marcador sobre la barandilla que hay en la sala del mapa. Una vez detectado, se mostrarían los muñecos virtuales detrás del marcador situándose sobre la maqueta. En esta prueba pudimos comprobar que teníamos problemas a la hora de colocar los muñecos lejos del marcador y sobre todo detrás del mismo, debido a que para esta tecnología es difícil dar profundidad colocando los muñecos detrás de la imagen detectada. Descartamos por tanto esta opción. En la Figura 4.37 podemos ver las dimensiones del mapa del museo.
2. **Segunda prueba (Jueves 26/02/2015).** La segunda opción consistía en colocar un marcador grande, como si fuera un mural, justo debajo del proyector que está en la pared situada enfrente de la barandilla, quedando finalmente como se muestra en la Figura 4.38. Una vez colocada la imagen de reconocimiento, debíamos comprobar si éramos capaces de conseguir que la cámara de realidad aumentada detectara

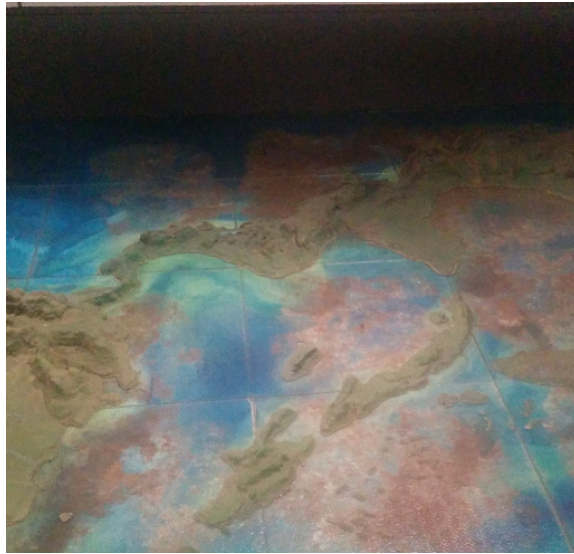


Figura 4.37: Fotografía del mapa del museo



Figura 4.38: Marcador colocado en el mapa del museo

el marcador, ya que la distancia que hay de la barandilla a la imagen es de aproximadamente cinco metros y en las pruebas que habíamos realizado nosotros previamente sólo habíamos conseguido detectarlo desde unos cuatro metros. En el primer intento vimos que no se detectaba en una posición normal, mientras que si estirábamos los brazos e inclinábamos el cuerpo hacia dentro del mapa sí conseguíamos detectarlo. Aun así decidimos descartar esta opción teniendo en cuenta también la opinión de Andrés puesto que no es una posición nada cómoda para un usuario. Tras hablar con Andrés, consensuamos dos posibles soluciones

al problema que se nos planteaba:

- Ya que vimos que con mayor iluminación se puede detectar un marcador desde mayor distancia, Andrés nos propone poner más luz sobre la imagen, aunque no mucha ya que si no se produciría reflejo, lo que imposibilitaría toda opción de detección. Si esta opción no funcionase, probaríamos la siguiente.
  - Acercar el marcador un metro para que se pueda detectar perfectamente, ya que entraría dentro de la distancia que ya habíamos probado previamente
3. **Tercera prueba (Jueves 05/03/2015).** La semana siguiente acudimos al museo para probar si esta vez éramos capaces de detectar la imagen desde la misma distancia pero con mejores condiciones de iluminación. La prueba es más satisfactoria que la anterior, pero aún es necesario estirar demasiado los brazos para conseguir detectar el marcador. Tras esta prueba y hablando con Andrés, decidimos descartarla y probar con la última y más factible opción.
4. **Cuarta prueba (Jueves 12/03/2015).** Se colocaron dos patas sobre el marcador para que se mantenga en pie por sí mismo y se adelanta aproximadamente un metro de su posición inicial. Con esta colocación vimos que se detecta perfectamente el marcador en una posición cómoda del cuerpo. En conclusión, esta es la solución final al problema de la distancia y de la iluminación. Como resultado de esta prueba obtenemos la imagen registrada en la Figura 4.39 con tres de los cuatro personajes colocados en su área del mapa. Para el área cultural restan-



Figura 4.39: Resultado de uso de la aplicación con el marcador un metro más cerca del usuario

te, situado en la costa noroeste, seguimos haciendo pruebas para ver si éramos capaces de colocar el personaje en su sitio y que se muestre de una manera aceptable, ya que la distancia al resto de personajes en

considerable. Si no hubiésemos sido capaces de colocarlo usando este marcador, ya teníamos previamente acordado con Andrés la colocación de un segundo marcador o, incluso, cambiar esa cultura por otra más cercana al centro del mapa.

Tras la finalización de todas estas pruebas, generamos otro prototipo en el que se solucionan los problemas de la anterior iteración y se integran las funcionalidades acordadas en esa misma iteración. Además incluimos el modelo en 3D de la cultura inca, como ya hemos comentado anteriormente. El prototipo final quedó de la siguiente forma (la demostración de los prototipos se puede encontrar en el siguiente enlace: Vídeo<sup>6</sup>).

Entre las cosas que solucionamos se encuentran las siguientes:

1. Hicimos más intuitivo y llamativo el botón de información (“i” en la aplicación) poniéndolo de color azul en la opción de RA en el museo (Figura 4.39). Por el contrario, en la opción de RA en casa, eliminamos este botón y colocamos sobre el mapa de papel un cubo 3D con el icono “i” impreso en sus caras (Figura A.7 del Apéndice 1). Si el usuario pincha sobre él, accede a la información que antes se encontraba en la esquina superior derecha. De esta manera cumplíamos con el requisito pedido por el cliente al hacer que destacase esta funcionalidad.
2. Añadimos fondos en todas las pantallas de la aplicación. Ahora siguen siendo azules, pero no fondos lisos: tienen un diseño más elaborado que hace más atractivo el conjunto de la aplicación. (Por ejemplo Figura A.8 del Apéndice 1).
3. Establecimos que, en todas las pantallas de la aplicación, los títulos serían de color negro mientras que el texto sería de color blanco para que se diferenciase fácilmente y destacaran los títulos por encima de los textos. De esta forma los usuarios, con un rápido vistazo, pueden saber de qué área cultural o cultura es la información que están consultando (por ejemplo Figura A.9 del Apéndice 1).
4. Refinamos los mapas que se ven en la pantalla del área cultural a gusto del cliente: cada mapa tendrá señalizado en color amarillo los límites del área cultural (Figura A.9 del Apéndice 1).
5. Incluimos y mejoramos el aspecto de las infografías, en la opción del museo y en la opción en casa. (Figura A.10 del Apéndice 1).
6. Mejoramos el aspecto general de la galería de imágenes, agrandando estas imágenes en la vista previa, creando botones para ampliarlas y añadiendo el icono de Google Chrome a los botones para la salida a

---

<sup>6</sup>[https://www.youtube.com/playlist?list=PLkAs9szq--aHFac02TyZM\\_iMwhx6WKdCo](https://www.youtube.com/playlist?list=PLkAs9szq--aHFac02TyZM_iMwhx6WKdCo)

internet. Además incluimos unas líneas decorativas para separar las imágenes unas de otras (Figura A.8 del Apéndice 1).

Pero aún nos quedaban detalles por refinar:

1. Introducir un icono en el botón de ubicación en el museo y quitar el texto que había (“Encuétralo”).
2. Introducir una *splash screen* siguiendo el diseño de la aplicación.
3. Cambiar ciertos contenidos, ya que los clientes nos pidieron sustituirlos por otros nuevos (Figura A.11 del Apéndice 1).
4. Ensanchar cuadros de textos para que los botones y los textos no estén tan pegados, de forma que la interfaz esté mucho más limpia.
5. Añadir luz a la escena de la cámara, para que los personajes se vean mejor.
6. Incluir la funcionalidad del botón “Atrás” físico en todas las pantallas del móvil, ya que funciona en algunas y en otras no.

Éstos y otros detalles serán los que se añadan en la siguiente iteración, la cual comentaremos en el siguiente apartado.

## 4.8. Sexta iteración

En esta iteración, finalizada el 26 de marzo de 2015, creamos la siguiente splash screen (Figura 4.40) para que aparezca al iniciarse la aplicación, antes del menú principal. Intentamos añadirla a la aplicación, pero enseguida des-



Figura 4.40: Splash screen

cubrimos que no era posible. Investigando la causa encontramos la solución: es necesario tener una versión de Unity Android Pro para poder añadirla. Al

no tener este entorno disponible ni en nuestras casas ni en los laboratorios de la facultad, decidimos dejarlo como línea de trabajo futuro.

Es esta iteración hemos solucionado los problemas que mencionamos en la iteración anterior:

- Añadimos luz a la escena de la cámara, para que los personajes se vean mejor.
- Cambiamos algunos de los contenidos de la aplicación, ya que los clientes nos pidieron sustituirlos por otros nuevos.
- Incluimos la funcionalidad del botón “Atrás” físico en todas las pantallas del móvil, ya que en la anterior iteración funcionaba en algunas y en otras no.
- Ensanchamos cuadros de textos para que los botones y los textos no estén tan pegados, de forma que la interfaz esté mucho más limpia.

Y además arreglamos otros errores y añadimos mejoras. Los cambios fueron los siguientes:

- Introducimos un icono de ubicación en lugar del texto “Encuétralo” que había en las ventanas de galería de imágenes. Creemos que esto mejora la visibilidad de la opción y hace que la interfaz sea más consistente y uniforme (Figura 4.41):



Figura 4.41: Galería de imágenes con botón de ubicación

- Ocultamos la barra de scroll haciéndola transparente para que quede más limpia la interfaz (Figura 4.41).
- Hasta ahora, sólo teníamos creada la vista para ver la información sobre el área cultural andina. En este nuevo prototipo, introducimos todas las

áreas culturales con sus respectivos textos, a falta de que el museo nos proporcionase los contenidos de las ventanas de ubicación de las piezas y los contenidos del área cultural en el museo. En ese momento, estos contenidos estaban en el aire, pero estaba más o menos acordado con Andrés que en esas ventanas de localización se incluirían unos croquis del museo, en los que se indicarían la localización de esas piezas y objetos expuestos.

- Introducimos en la aplicación todos los personajes 3D definitivos para cada una de las culturas, que nos proporcionó Samuel (Figura 4.42).



Figura 4.42: RA con todos los personajes 3D

- Modificamos y añadimos la información que nos indica el cliente en las ventanas del museo y de información sobre los desarrolladores de la aplicación, ya que hasta ahora estaban provisionalmente añadidas por nosotros.
- Debido a que detectamos que la aplicación tarda en cargar la escena donde se hace uso de la cámara del teléfono móvil, decidimos añadir una ventana intermedia en la que aparece un mensaje “Cargando..” (Figura 4.43). Esta pantalla sólo aparecerá unos segundos cuando desde el menú se pulse sobre uno de los botones de realidad aumentada, con el objetivo de que el usuario no tenga la sensación de que la aplicación se ha quedado parada o colgada.
- La galería de imágenes está creada de forma que haya el mismo hueco para mostrar la información correspondiente para cada una de las piezas. Debido a que las imágenes que aparecían en la galería eran de

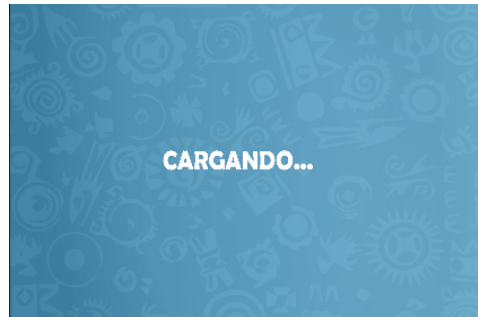


Figura 4.43: Ventana mostrando el mensaje de cargando

tamaños muy diferentes, algunas aparecían deformadas. Para solucionar este problema, decidimos introducir una máscara que se coloque delante de la imagen y solo deje ver una parte de la misma, obligando al usuario a pinchar sobre la imagen para ampliarla (como se aprecia en la Figura 4.41).

- Incluimos además las animaciones en el mapa en papel para que los muñecos se moviesen por su zona de forma aleatoria.
- Añadimos un icono para cambiar el idioma de la aplicación en la parte superior derecha del menú principal (Figura 4.44). De esta manera, la aplicación está preparada para que se pueda cambiar el idioma de todos los contenidos. Sin embargo, no incluiremos todos los textos traducidos, a no ser que tengamos suficiente tiempo como para agregarlos, puesto que no es una funcionalidad requerida por el cliente.

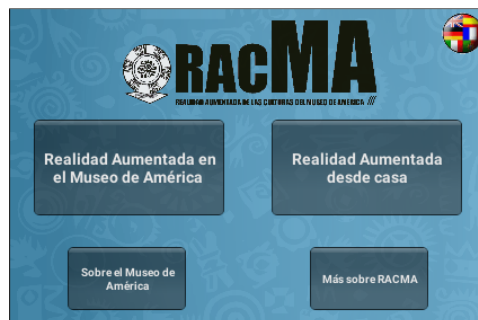


Figura 4.44: Menú principal con botón para cambiar de idioma

Una vez realizados todos estos cambios, determinamos que habíamos llegado a una fase bastante avanzada de la aplicación. Lo suficientemente avanzada como para empezar las pruebas con usuarios, ya que todas las funcionalidades



requeridas por el cliente estaban añadidas y preparadas para ser utilizadas. Además, todos los contenidos estaban también incluidos, excepto los croquis de localización. sin embargo, aún debíamos hacer una última modificación, lo que daría lugar a una nueva iteración del prototipo.

## 4.9. Séptima iteración

Era el momento, entonces, de preparar el plan de evaluación con usuarios y realizar las posteriores pruebas basadas en ese plan.

Sin embargo, necesitábamos realizar una última modificación del prototipo antes de hacer las evaluaciones con usuarios. Por lo que paralelamente a la preparación del plan de evaluación, realizamos este cambio. Consistía en la inclusión de los personajes 3D definitivos en la opción de RA en el museo. El resultado lo obtuvimos a fecha del 19 de Abril de 2015.

Hasta ese momento en esa escena, teníamos colocados vikingos, que eran los modelos que usábamos en las primeras iteraciones de la aplicación, hasta que Samuel pudo proporcionarnos los modelos definitivos. Por tanto, eliminamos los vikingos y los sustituimos por los personajes correspondientes. Además, tenían un tamaño demasiado grande para el mapa, por lo que los escalamos, reduciendo su tamaño hasta adecuarlo al de la maqueta de América. También incluimos luz en la escena, ya que no se veían bien los personajes si no se añadían focos de luz, especialmente los más alejados del marcador. Además sólo teníamos tres personajes colocados en su zona correspondiente, como hemos visto en las anteriores iteraciones (Figura 4.45).



Figura 4.45: Tres culturas colocadas en la maqueta del mapa del museo

Después de realizar estos cambios, ahora teníamos que colocar el perso-

naje del área cultural noroeste, que es el más alejado del marcador, y por tanto, el más difícil de colocar. Realizando los primeros posicionamientos, nos dimos cuenta de que el muñeco tenía que salirse de los límites de visión de la cámara de Unity, por lo que pensamos que podría no ser satisfactorio el resultado. Al final, conseguimos posicionarlo correctamente (Figura 4.46) y descartamos el tener que incluir un nuevo marcador para que este personaje apareciese encima del mapa, tal y como habíamos hablado con Andrés unas etapas atrás (apartado 4.7.2).



Figura 4.46: Opción *ExtendedTracking* activada al visualizar el área cultural noroeste

Los tres principales aspectos a tener en cuenta fueron:

1. En esta opción está activada el *ExtendedTracking*, debido a que el mapa tiene unas dimensiones desmesuradas. Gracias a esto, el usuario no tiene por qué estar continuamente enfocando el marcador para que aparezcan los personajes 3D. Es especialmente útil con el personaje del área cultural noroeste, ya que es el más alejado (Figura 4.46).
2. Debido también a las grandes dimensiones del mapa y a la distancia del marcador con respecto del dispositivo que lo va a reconocer, los muñecos vibran levemente sobre la maqueta. En el caso del personajes del área cultural noroeste es en el que más se nota, pero en ningún caso es una vibración tan considerable como para que los usuarios se sientan incómodos al respecto. Como ya decimos, es bastante leve y no afectará a la experiencia de usuario, como comprobaremos posteriormente en las evaluaciones con usuarios.
3. Las animaciones en esta opción de la aplicación han sido imposibles de incluir, debido a los problemas de distancias y profundidad del entorno. Lo dejamos por tanto, como futura línea de trabajo.

Todo el proceso de evaluación con usuarios será explicado en el capítulo 6, donde se podrá acceder al plan de evaluación, resultados obtenidos de esas pruebas, tanto cuantitativos como cualitativos, errores y posibles mejoras encontradas a partir de estas evaluaciones y cómo los solucionamos.

## 4.10. Últimas iteraciones y versión final: inclusión de detalles

Para concluir la aplicación, realizamos unos últimos cambios que nos quedaban pendientes debido a que el museo nos los tenía que proporcionar y algún detalle que también han querido añadir a última hora.

De esta forma, publicamos una versión beta con el prototipo generado tras las evaluaciones con usuarios. Es entonces cuando Andrés y Beatriz hicieron un repaso de esta versión.

En el apartado 4.10.1, comentaremos cuáles fueron los cambios introducidos tras las indicaciones de los clientes. Realizados estos cambios, volvimos a subir una nueva versión beta a Play Store y de nuevo los clientes hicieron una revisión de este prototipo. En el apartado 4.10.2 comentaremos cómo nos volvieron a dar indicaciones y otra vez subimos una nueva versión beta de la aplicación. Andrés y Beatriz la revisaron por última vez y es entonces cuando nos dieron la aprobación para subir esta versión al público de Play Store, como versión definitiva de RACMA.

### 4.10.1. Décima iteración

La fecha en la que tuvimos los resultados para esta iteración fue el 28 de mayo de 2015. Los cambios realizados tras la primera revisión de Andrés y Beatriz fueron los siguientes:

- A petición del museo añadimos su logo en el menú principal (Figura 4.47).
- El museo nos proporciona los croquis con situación concreta de las áreas culturales y piezas en el museo, por lo que los colocamos en sus ventanas correspondientes, ya que hasta ahora habíamos puesto una imagen genérica para todas las áreas y piezas (Figura 4.48)
- El cliente revisa todos los textos de la aplicación y nos envía modificaciones y errores encontrados. En la Figura 4.49, podemos ver el cambio producido en la ventana de “Información”.
- El cliente nos envía todos los textos en inglés y los añadimos (Figura 4.50). Con lo cual, la funcionalidad de soporte multi-idioma está com-



Figura 4.47: Menú principal con el logo del museo de América



Figura 4.48: Ejemplo del Área cultural Costa Noroeste en el museo



Figura 4.49: Ventana de información

pleta. Más adelante en el siguiente capítulo contaremos cómo funciona este soporte.

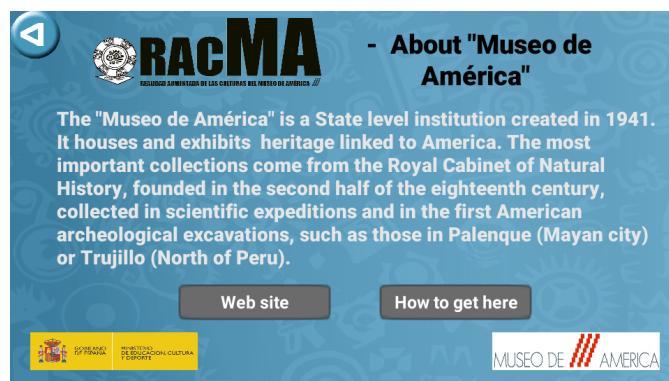


Figura 4.50: Información sobre el museo de América en inglés

En Youtube se puede ver el resultado de la aplicación tras finalizar esta versión en las siguientes demos:

- Realidad aumentada en el museo: Video<sup>7</sup> (en esta demo aún faltaba por incluir los croquis).
- Realidad aumentada desde casa (mapa impreso en un folio): Video<sup>8</sup>
- Realidad aumentada desde casa (mapa impreso visualizado en una pantalla): Video<sup>9</sup>

La lista completa de todas las demos se encuentra en el siguiente enlace: Video<sup>10</sup>

#### 4.10.2. Undécima iteración: versión final

Tras subir la anterior iteración a Play Store, los clientes vuelven a revisar la aplicación y nos sugieren los siguientes cambios:

- Cambiar el color de los botones de realidad aumentada, para que destaquen con respecto a los demás botones del menú (Figura 4.51). Decidimos ponerlos en color amarillo, para establecer la consistencia en la aplicación y les añadimos un icono de un museo y una casa para diferenciar ambas opciones:

<sup>7</sup><https://www.youtube.com/watch?v=bJeigMr3ph8>

<sup>8</sup><https://youtu.be/TdH0sJNZWjk>

<sup>9</sup><https://youtu.be/jyoWndbArJI>

<sup>10</sup>[https://www.youtube.com/watch?v=bJeigMr3ph8&list=PLLVkhRKJpOpXUdAF47y\\_XKgJAjIzsyWTr](https://www.youtube.com/watch?v=bJeigMr3ph8&list=PLLVkhRKJpOpXUdAF47y_XKgJAjIzsyWTr)



Figura 4.51: Menú principal con el nuevo diseño

- Añadimos la información de Andrés, Beatriz y otras personas que les han ayudado en el apartado de “Más sobre RACMA”, añadiendo un botón “Créditos” para acceder a esta información en una nueva ventana (Figura 4.52).



Figura 4.52: Ventanas de información sobre el proyecto

La iteración terminó el 4 de junio de 2015, y es desde esa fecha desde cuando los usuarios pueden descargar la aplicación RACMA desde Play Store. Se puede ver un vídeo de demostración de esta versión en el siguiente enlace a Youtube: Vídeo demostración de la versión final de RACMA<sup>11</sup>

<sup>11</sup><https://www.youtube.com/watch?v=v-dwpZCbEK4&feature=youtu.be>

## Capítulo 5

# La aplicación RACMA

En este capítulo, haremos un repaso de todas las funcionalidades finales que tiene la aplicación a modo de manual de usuario, viendo a través de diagramas cuál sería el flujo de estados de la aplicación. Comentaremos también la arquitectura de la aplicación destacando cuatro de las características más relevantes que tiene RACMA: las escenas creadas, la escalabilidad de la aplicación, las animaciones y el soporte multi idioma.

Finalmente detallaremos cómo se realizó la subida de la aplicación a la Play Store de Google, primero en versión beta para que los clientes pudieran realizar una repaso de lo realizado, y luego en producción tras la aprobación de los clientes.

### 5.1. Diagrama de flujo de la aplicación

RACMA es una aplicación, como ya hemos comentado anteriormente, basada en realidad aumentada con la que se puede obtener información sobre cuatro áreas culturales expuestas en el museo y sobre las culturas principales de cada una de las áreas. A esta información se puede acceder desde el museo o desde casa. En este apartado, explicaremos qué es exactamente lo que puede ver el usuario cuando entra en RACMA la primera vez que se la descargue.

La pantalla inicial de RACMA es el menú principal, donde podrá acceder a las dos principales opciones de realidad aumentada. Dependiendo de donde se encuentre el usuario, deberá elegir “En el museo” o “En casa”. Además, en este menú puede acceder a cuatro botones más:

- Información sobre el Museo de América y acceso a su página web oficial, así como información sobre cómo llegar al museo.
- Botón de ayuda para que el usuario pueda ver información sobre cómo usar la aplicación siempre que lo necesite.
- Información sobre quiénes son las personas que han desarrollado la aplicación y quiénes han colaborado durante el proceso.
- Botón para cambio de idioma de la aplicación.

Dentro de las opciones de realidad aumentada el contenido será el mismo. Lo único que cambia es la situación del botón de información: en la opción en casa este botón se encuentra en un cubo 3D que flota en el océano del mapa, mientras que en la opción del museo de América, se encuentra en la esquina superior derecha. El contenido de ambos botones, que es el mismo, define lo que es un área cultural e incluye que lo que se ve en la aplicación son cuatro personajes representativos de cuatro culturas importantes de la América precolombina.

Otro aspecto a tener en cuenta es que la información que se encuentra en la ayuda, que son infografías, aparecen también la primera vez que el usuario entra en las opciones de RA. No volverán a aparecer en ese lugar en entradas sucesivas para no saturar al usuario.

Dentro de las opciones de realidad aumentada se verán cuatro personajes, de las siguientes áreas culturales:

- **Área cultural de Costa Noroeste**, representada por la **cultura Tlingit**.
- **Área cultural Mesoamérica**, representada por la **cultura Maya**.
- **Área cultural Andina**, representada por la **cultura Inca**.
- **Área cultural Amazónica**, representada por la **cultura Shuar**.

En la tabla 5.1 se muestran los personajes de las culturas que aparecen en la aplicación.

Cada vez que se pinche sobre uno de los modelos, se podrá ver la información del área cultural a la que pertenece ese personaje. Además, desde esta misma ventana se podrá acceder a una galería de imágenes de piezas representativas de ese área y también a otra ventana donde se vea un croquis del museo, en el que estará señalizada la zona del museo donde se pueden ver







Cultura Tlingit	Cultura Maya	Cultura Inca	Cultura Shuar
			

Tabla 5.1: Personajes representativos que aparecen en la aplicación

objetos de ese área cultural. Por último, tendremos un botón donde se podrá acceder a la información de la cultura principal de ese área. Esta cultura será la misma que la cultura representada por el modelo 3D sobre el que se habrá pulsado. Dentro de esta nueva pantalla, además de esta información, habrá un botón que da acceso a una nueva galería de imágenes con piezas representativas de esa cultura.

Todas las galerías de imágenes van a incluir una vista previa de las piezas incluidas en la galería. Sobre esta vista previa se puede pulsar y ver entonces la imagen ampliada. Para cada una de las piezas hay un párrafo de información que explica qué es esa pieza, y un botón para localizar esa pieza dentro del museo de América. Incluso para cada una de las piezas se puede acceder a más información gracias a un botón que te permite ir a la ficha de ese objeto en la página web del museo o a un vídeo en Youtube.

A continuación, presentamos el diagrama de flujo de la aplicación, con las pantallas que se ven en el móvil y cuáles son los posibles caminos que puede recorrer el usuario desde el menú principal (Figura 5.1) y desde la pantalla de RA (Figura 5.2):



Figura 5.1: Diagrama de flujo desde el menú principal

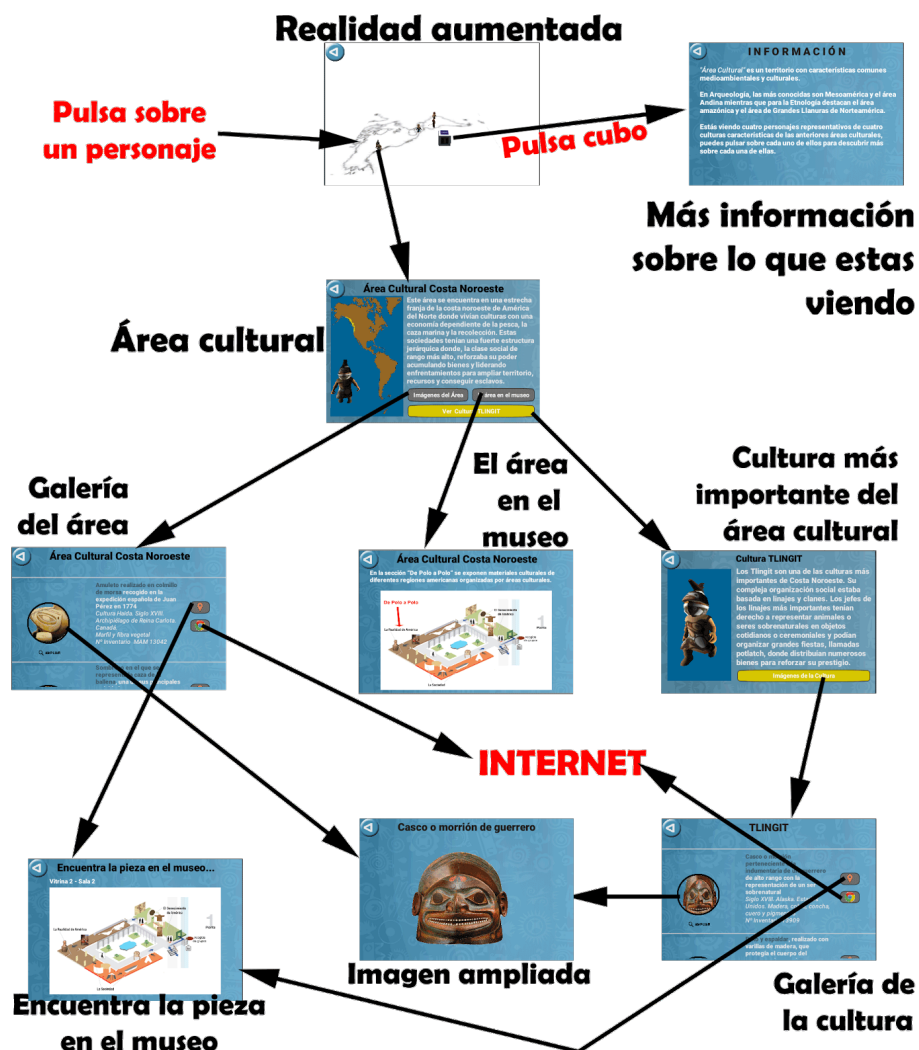


Figura 5.2: Diagrama de flujo desde la ventana de realidad aumentada

## 5.2. Arquitectura de la aplicación

Después de ver el diagrama de flujo de estados, ahora vamos a ver cómo se organiza la arquitectura de la aplicación, incidiendo en cuatro de los aspectos más importantes: escenas creadas, escalabilidad de la aplicación, animaciones y soporte multi-idioma.

### 5.2.1. Escenas de la aplicación

Antes de entrar de lleno en la explicación de esta sección, debemos recordar que la aplicación está desarrollada mediante el entorno de desarrollo Unity3D, uno de los principales motores para la creación de videojuegos. Recordemos también que los proyectos en Unity3D están divididos en una o más escenas. Cada una de estas escenas constituye un nivel del juego y actuará como contenedor de los elementos presentes en ese nivel de juego. Es decir, es dentro de esa escena donde los diferentes GameObjects o elementos están localizados, de forma que no podrán salir de esa escena, ya que están definidos en ella. (Thorn (2014))

En el caso de RACMA, al no ser un juego, las escenas no constituyen niveles, sino las diferentes ventanas por las que el usuario podrá pasar y obtener información. A continuación se detallarán estas escenas.

Para este proyecto hemos creado un total de ocho escenas que veremos detalladamente a continuación:

#### 1. Menú principal.

En esta escena no es necesario añadir ningún GameObject adicional a la MainCamera, que es el objeto que proporciona Unity por defecto para proporcionar la visión de la escena. A esta MainCamera le hemos incorporado un script como componente, con el cual hacemos uso de la GUI, interfaz para crear botones y ventanas en Unity. Para la creación de estos elementos es necesario usar la función OnGUI() que se ejecuta continuamente como si se tratara de un bucle While(1). Dentro de este bucle se crean los elementos necesarios para cada pantalla de la aplicación. En esta escena, colocamos cuatro botones (GUI.button) y una caja que actúa como fondo de la interfaz (GUI.box).

#### 2. Realidad aumentada en el museo.

El GameObject principal de esta escena es la ARCamera que como hemos visto en el Capítulo 3 nos ayuda a hacer uso de la realidad aumentada. Hay cuatro GameObjects que son los personajes correspondientes a cada una de las culturas características de los cuatro áreas culturales incluidas en la aplicación. También tenemos un *ImageTarget*

que es el padre de los personajes para que cuando la cámara detecte el *target* aparezcan los modelos.

Ahora bien, cada personaje tiene asociado un componente script escrito en C Sharp llamado toque.cs que lo que hace es que cuando se ha pulsado un personaje ejecuta la función *OnMouseDown()* y dentro de ella ponemos las acciones que tiene que hacer dependiendo del personaje que haya sido pulsado. Para diferenciar qué personaje hemos pulsado, a cada uno de ellos le hemos asignado un Tag, es decir, una etiqueta para poder distinguirlo. Por lo que cuando pulsamos un personaje, obtenemos ese Tag y en función de cual sea, nos iremos a una escena u otra.

Por último, hay un GameObject llamado Controlador cuya función es mostrar un mensaje de ayuda al usuario cuando el ImageTarget no está siendo detectado y tres Directional Light para ver a los personajes con más claridad.

### 3. Realidad aumentada desde casa.

Esta escena es prácticamente igual que la anterior. Cambian las posiciones de los personajes, se añade el cubo para acceder a “Información” y cambia el *ImageTarget* empleado, que en este caso es un mapa mudo de América. También se añaden varios GameObjects a la escena y se incorporan nuevos componentes en cada uno de los personajes, todo ello con el propósito de incluir animaciones en los personajes. Esta funcionalidad y el funcionamiento de estos componentes y GameObjects se explicará dentro del apartado 5.2.3.

### 4. Ventana de información.

Esta escena es cargada cuando pulsamos sobre la “i” azul de información (ya sea en el cubo o sobre el botón de la esquina superior derecha) que se encuentra en las pantallas donde está haciéndose uso de la cámara de realidad aumentada, que son las dos escenas que hemos definido en los apartados inmediatamente anteriores.

Como GameObjects solo utilizamos la Main Camera y un componente script sobre ella para cargar el texto y mostrarlo por pantalla en una GUI box, que no es más que una ventana superpuesta en nuestra pantalla actual, a la cual añadimos su título y el botón de volver a la escena anterior.

### 5. Áreas culturales. Tenemos que contar con que habrá cuatro escenas de similares características, una por cada área cultural. En cada una de estas escenas utilizamos cinco GameObjects:

- Los dos objetos para representar dos personajes, uno grande y otro pequeño, que aparecen en la pantalla de la cultura y del área cultural respectivamente.

- La Main Camera para poder mostrar los elementos por pantalla.
- Un par de luces para dar claridad a los dos personajes.

Para otorgar a la escena las funcionalidades que queremos y poder crear las ventanas y botones, hacemos uso de un componente adjunto a la Main Camera, llamado GUIarea.cs, que es un script escrito en C Sharp. Este script nos permite crear todas las pantallas relacionadas con un área cultural (área cultural, cultura, visor de imágenes, localización de la cultura dentro del museo, etc...) usando la clase GUI de Unity. Cada una de estas ventanas se crea a través de su respectiva función que se ejecutará dependiendo del evento que se produzca y que tiene un nombre característico para ser fácilmente reconocible.

### 5.2.2. Escalabilidad de la aplicación

Para mejorar la escalabilidad de la aplicación, hemos creado una jerarquía de carpetas dentro de la carpeta “Resources” del proyecto. Esa jerarquía está estructurada de forma que haya una carpeta principal para cada una de las áreas y dentro de ésta, otras subcarpetas donde se van a guardar todos los recursos relativos a esa área, ya sean imágenes, textos, urls, etc. Como parámetro, para que la aplicación lea los recursos que necesita de ese área de la carpeta correspondiente, empleamos el nombre del área cultural. A continuación, mostramos cómo es la estructura interna de cada una de las carpetas:

#### 1. Nombre del área cultural

- a) Nombre Del Área Cultural.txt: descripción del área
- b) Imagenes: los archivos .png para el visor de imágenes
- c) Titulos: títulos de las imágenes para cuando se amplíen en el visor
- d) Descripciones: es el texto completo que aparece junto a cada foto
- e) Urls: el contenido del botón con el icono de Chrome
- f) MapasMuseo: imágenes del lugar donde se encuentra la pieza dentro del museo.
- g) Cultura: equivalente a lo anterior pero para la cultura principal del área.
  - 1) nombreCultura.txt
  - 2) Imagenes
  - 3) Titulos
  - 4) Descripciones
  - 5) Urls
  - 6) MapasMuseo

A modo de ejemplo para el área cultural andina:

1. Área Cultural Andina

- a)* Área Cultural Andina.txt
- b)* Imagenes
- c)* Titulos
- d)* Descripciones
- e)* Urls
- f)* MapasMuseo
- g)* Incas
  - 1) Incas.txt
  - 2) Imagenes
  - 3) Titulos
  - 4) Descripciones
  - 5) Urls
  - 6) MapasMuseo

Hay que tener en cuenta que esta no es la estructura completa de la jerarquía, ya que además hay otras carpetas que contienen los textos en inglés incluidos en la aplicación para el soporte multi-idioma. Esto se concretará más adelante en el apartado de Soporte Multi-idioma: 5.2.4.

Para leer los dos ficheros de texto (el del área cultural y el de la cultura), así como el mapa de América con su zona de influencia señalada en amarillo, es necesario escribir una línea de código que cargue los recursos de forma que puedan ser utilizados en el script en el que se necesiten utilizar. La llamada es la siguiente:

```
Resources.Load(string path, TypeOf(Tipo));
```

Esta llamada devuelve el recurso que se encuentre en la ruta indicada por path, y hace automáticamente un casting al tipo que le indiquemos en la variable Tipo. En el caso de los ficheros de texto el Tipo debe establecerse como TextAsset, que se utiliza para importar ficheros .txt, .html, .xml, etc. En el caso de las imágenes, el tipo que debe establecerse es Texture2D.

Con esta estructura también podemos leer todos los recursos relacionados con las imágenes mediante la siguiente llamada:

```
Object [] Resources.LoadAll(string path);
```

Esta función devuelve un array de objetos con los objetos que haya (imágenes o ficheros de texto) en la ruta que se le pasa por parámetro. Por ejemplo, teniendo en cuenta la jerarquía de carpetas vista anteriormente, si queremos obtener y guardar en un array de objetos todas las imágenes de un área cultural, la llamada que tendremos que realizar sería la siguiente:

```
Object[] texturas = Resources.LoadAll(nombre_area_cultural
    +"/Imagenes");
```

Donde nombre\_area\_cultural es el nombre del área cultural de la que queremos obtener todas las imágenes, y que pasamos al script como un atributo público de la clase. Una vez que tenemos el array de objetos con las imágenes, vamos cogiendo el nombre de cada imagen y buscando ese mismo nombre en las carpetas de títulos, descripciones y urls. De esta manera, podemos leer todos los recursos asociados a esa imagen simplemente teniendo en cuenta que tienen el mismo nombre. A continuación, explicamos cómo hacemos este proceso.

Creamos entonces los arrays de recursos con el tamaño adecuado, en función del número de imágenes leídas, y con el tipo adecuado: Texture2D para imágenes y string para textos:

```
imagenes_area = new Texture2D[texturas.Length];
textos_area = new string[texturas.Length];
localizacion_area_en_museo = new Texture2D[texturas.Length];
names_area = new string[texturas.Length];
urls_area = new string[texturas.Length];
```

Con los arrays ya creados, necesitamos llenarlos con la información que les corresponde buscando por el nombre de la imagen. Cada imagen tiene un nombre distinto y todos los recursos de cada imagen tienen el mismo nombre que la imagen. Para cada imagen leemos su título, descripción, croquis de localización y url:

```
for (int i = 0; i < texturas.Length; i++) {
    textos_area[i] = Resources.Load(nombre_area_cultural+"/
        TextosImagenes/"+texturas[i].name).ToString();
    localizacion_area_en_museo[i] = (Texture 2D) Resources.
        Load(nombre_area_cultural+"/MapasMuseo/galeria/"+
            texturas[i].name);
    titulos_area[i] = Resources.Load(nombre_area_cultural+"/
        NombresImagenes/"+texturas[i].name).ToString();
    urls_area[i] = Resources.Load(nombre_area_cultural+"/Urls
        /"+texturas[i].name).ToString();
}
```



Para obtener las imágenes en formato Texture2D que es el que permite la GUI de Unity utilizar para las imágenes y como el array de imágenes que habíamos obtenido era un array de objetos y no de texturas, ejecutamos una función creada por nosotros:

```
convierteObjetos a Texturas ( Objects []  objetos , Texture2D []  
    imagenes )
```

Esta función recorre el array de objetos y asigna el objeto al respectivo formato mediante un casting.

Con todo este proceso ya tenemos toda la información del área cultural para poder trabajar dentro de la aplicación. El proceso para leer la información de la cultura principal es análogo, con lo cual se puede trabajar también con todos los recursos de las culturas más importantes del área.

### 5.2.3. Animaciones

Mientras realizamos las primeras iteraciones del diseño de la aplicación, nos dimos cuenta de que la escena que ven los usuarios a través del móvil podría ser mucho más atractiva si añadíamos animaciones a los personajes, aunque fuesen sencillas. Decidimos entonces incluirlas de una u otra manera.

Teniendo personajes encima de un mapa colocados en sus respectivas posiciones, creímos que la animación más lógica para esta aplicación sería que los personajes deambulasen al azar en su zona de influencia. Ésta es la principal animación de la aplicación.

La implementación consiste en la creación de un script Desplazar.cs, que se añadiría como componente a los cuatro modelos. Cada uno de estos modelos tendrá a su vez un componente Animator, que incluirá un Controller, con el cual se podrá acceder a las dos posiciones del modelo: en reposo o Idle, y corriendo o Walk.

El funcionamiento de **Desplazar.cs** es el que explicamos a continuación. Lo primero que hacemos en la función Start() es declarar las variables y las constantes que serán necesarias para el funcionamiento de la animación. En concreto, las constantes no valdrán lo mismo en todas las situaciones, sino que dependiendo de qué personaje esté ejecutando el componente, tendrán un valor u otro. Estas dos constantes son:

- **multSpeed**: se utiliza como factor de la velocidad que va a llevar el personaje.

- **max\_temporizador**: se utiliza para gestionar los intervalos de tiempo en los que el personaje corre o se queda parado.

Esto provoca que cada personaje vaya a un ritmo diferente, de forma que parezca que deambulan por la escena no uniformemente entre unos y otros.

Una vez declaradas variables y constantes, la función `Update()` va a estar en constante ejecución, y es aquí donde creamos el movimiento en sí. Este movimiento tendrá tres fases que se repetirán cíclicamente:

- El personaje estará parado durante un tiempo igual o mayor a `max_temporizador`.
- Pasado ese tiempo, empezará a moverse durante un tiempo igual a `max_temporizador`.
- Una vez cumplido ese intervalo, el personaje rotará hacia el sentido contrario al que estaba corriendo en ese momento.

Los personajes deambulan por el escenario mediante el uso de *WayPoints*. Dentro de la escena tenemos dos `GameObject` por cada modelo. Estos `GameObject` son transparentes y no tienen como objetivo que el usuario interactúe con ellos, si no servir como puntos de referencia para que el personaje se dirija hacia uno en una iteración, al otro en la siguiente y así sucesivamente. Es decir, el personaje se dirige hacia la zona en la que se encuentra uno de los dos `GameObject` que le corresponde, y después al otro y así indefinidamente. Sin embargo, la rotación no se hace completa por lo que el personaje no irá en línea recta a esa dirección, sino hacia la zona donde se encuentra el `Wait Point`.

Esta animación sólo ha sido posible implementarla en la opción en casa debido a las grandes distancias y profundidades que tiene la escena en la opción del museo, lo que dejamos como línea de trabajo futuro. Como por defecto el muñeco está en posición `Walk`, incluimos una animación muy simple en los modelos de la escena de la opción del museo, para que los muñecos no estuviesen andando en un punto concreto y sin avanzar. Esta animación consiste en acceder a la posición `Idle` del muñeco para que se quede en ella indefinidamente. Está desarrollada en el script `KeepIdle.cs`.

Por otro lado, tenemos otra animación creada a través del script `Rotacion.cs` (Videojuegos (2015)) que se añade como componente a los personajes que se encuentran en la ventana que da acceso a la información de la cultura, para que roten sobre sí mismos. Creímos que sería atractivo para los usuarios, que además podrían ver los modelos desde todos los ángulos.

Después de las evaluaciones con usuarios y de haber mostrado a Andrés

y Beatriz la aplicación con las animaciones incluidas, concluimos que la adición de estos scripts fueron una buena elección, ya que aunque no realizan ninguna funcionalidad informativa, sí provoca una muy buena experiencia de usuario, mucho mejor de lo que hubiera sido si RACMA no hubiese tenido animaciones.

#### 5.2.4. Soporte Multi-Idioma

Para finalizar la aplicación y dado que está destinada a usarse en un museo, que es un lugar donde acuden muchos visitantes extranjeros, hemos decidido incorporar a ella soporte para múltiples idiomas. En esta versión está disponible en castellano como idioma principal y también en inglés al ser el otro idioma más comúnmente hablado. Se puede cambiar de idioma accediendo al menú de configuración a través del botón situado en la esquina superior derecha de la ventana principal.

En cuanto a cómo lo hemos diseñado, vamos a diferenciar dos partes. El primer apartado, donde tratamos los textos que leemos de ficheros .txt para cada área cultural, y el segundo apartado, donde leemos un solo fichero, donde se encuentran todos los textos que aparecen en los botones y títulos de la aplicación.

##### 5.2.4.1. Para los textos de la aplicación

Para tener este soporte hemos creado una variable global que identifica el idioma seleccionado por el usuario, y que por defecto siempre es español. Además, para cada archivo .txt con contenido en español, creamos un archivo .txt homólogo en inglés, con el objetivo de separar los textos en distintos idiomas. Creamos también carpetas para almacenar estos nuevos archivos y les añadimos sufijos a las carpetas para poder diferenciarlas. Para identificar las distintas carpetas del idioma castellano utilizamos el sufijo -es (Español), mientras que para las del inglés usamos el sufijo -en (English).

A modo de ejemplo y continuando con la estructura de carpetas que comentábamos anteriormente, mostramos la jerarquía del área cultural andina:

##### 1. Área Cultural Andina

- a) Área Cultural Andina-es.txt
- b) Área Cultural Andina-en.txt
- c) Imagenes
- d) Titulos-es
- e) Titulos-en
- f) Descripciones-es

- g)* Descripciones-en
- h)* Urls
- i)* MapasMuseo
- j)* Incas
  - 1) Incas-es.txt
  - 2) Incas-en.txt
  - 3) Imagenes
  - 4) Titulos-es
  - 5) Titulos-en
  - 6) Descripciones-es
  - 7) Descripciones-en
  - 8) Urls
  - 9) MapasMuseo

Por ejemplo, para leer la información general del área cultural, haríamos la siguiente llamada:

```
informacion_general = (TextAsset)Resources.Load (
    nombre_area_cultural+"/"+nombre_area_cultural+"-"+
    Variables.dimeIdiomaActual(), typeof(TextAsset));
```

Con esta llamada accedemos a la carpeta del área cultural y leemos el archivo que queremos en función del idioma que actualmente se esté utilizando, ya que `dimeldiomaActual()` devuelve el sufijo en cuestión.

Usamos la misma estructura y organización para leer el resto de recursos de la aplicación.

#### 5.2.4.2. Para los botones y títulos de la aplicación

Para cambiar el idioma de los botones y títulos de las ventanas de la aplicación hemos creado un script llamado `LocalizationManager.cs`. Este script se encarga de leer de un fichero (habrá uno por cada idioma) cada título o nombre de botón de la aplicación junto con la clave que utilizamos para identificarlo y poder así guardar todos los textos en una tabla hash (clave - valor, ambos de tipo string). Este script también ofrece un método llamado `getValue` que recibe por parámetro una clave y devuelve un valor.

En el fichero se encuentra en primer lugar la clave seguida de dos puntos y el valor. A modo de ejemplo, el texto del botón del menú principal para hacer uso de realidad aumentada en el museo lo escribimos así:

```
boton_RA_museo: Realidad Aumentada en el Museo de América
```

Por lo que una vez leído el fichero, podríamos obtener el valor del nombre del botón con esta llamada:

```
LocalizationManager . getValue ( ‘ ‘ boton_RA_museo ’ ’ ) ;
```

De este modo, se pueden obtener todos los valores necesarios de los textos a incluir en los botones y título de la aplicación.

### 5.3. Publicación de la aplicación en Play Store de Google

Para que los visitantes al Museo de América puedan utilizar RACMA, era necesario que subiéramos la aplicación a Play Store<sup>1</sup>. Hicimos dos tipos de subidas: una subida a versión beta y otra a producción.

El objetivo de la subida como versión beta era comprobar que la aplicación cumplía los requisitos pedidos por Google, y que no había problemas cuando los usuarios se descargasen la aplicación. Además, queríamos que Andrés y Beatriz validasen todos los aspectos de la aplicación y estuvieran contentos con el resultado final que posteriormente se subiría a producción. Es por esto que realizamos varias subidas en beta, para que los clientes pudiesen revisar la aplicación y ver los cambios que íbamos realizando.

Un requisito indispensable para la publicación de una aplicación en Play Store era tener una cuenta como desarrollador, por lo que lo primero que realizamos fue la creación de una cuenta conjunta de gmail: racma2015@gmail.com para registrarla para desarrollo en Google Play Developer Console<sup>2</sup>, donde tuvimos que registrar nuestros datos y pagar 25 dólares.

Una vez hecho esto, accedemos a la web de subida de la aplicación, donde tenemos cuatro páginas para rellenar. A continuación, detallamos cuáles fueron estas páginas y los problemas que nos encontramos durante el proceso:

- **Página para la subida del apk de la aplicación.** Play Store nos impone tres restricciones: el archivo debe estar firmado en modo de publicación, el nombre de paquete no debe existir en la tienda y el

---

<sup>1</sup><https://play.google.com/store>

<sup>2</sup>[https://support.google.com/googleplay/android-developer/answer/6112435?](https://support.google.com/googleplay/android-developer/answer/6112435?hl=es)  
hl=es

número de versión no puede ser el mismo que el de otra versión subida anteriormente (Figura 5.3). Estas configuraciones se realizan a través de los Settings de Unity al generar el apk, de manera bastante intuitiva, por lo que consultamos alguna web para solucionarlo y no tuvimos grandes problemas.

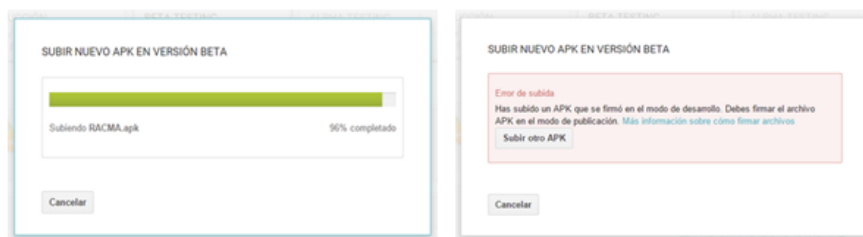


Figura 5.3: Proceso de subida de la aplicación a Google Play

- **Página para la creación de la ficha de la aplicación.** En ella tuvimos que incluir todos los datos que serán visibles por los usuarios de la tienda. Incluimos el nombre de la aplicación, descripción de funcionalidades, capturas, icono, imágenes representativas y categoría de la app (que decidimos que sería “Educación”), así como restricciones de edad.
- **Página para la clasificación del contenido.** En esta vista Google nos hace unas cuantas preguntas sobre el contenido de la aplicación: sobre el grado de violencia y contenido sexual, o cantidad de información que se comparte sobre personas. Teniendo en cuenta que nuestra aplicación es meramente informativa y educativa, conseguimos una clasificación apta para todos los públicos (Figura 5.4).
- Por último, rellenamos la **página de precio y distribución**. Elegimos que la aplicación será gratuita y que se distribuirá en todos los países del mundo y confirmamos que la solicitud cumple las directrices de contenido requeridas por Google.

La aplicación, entonces, está subida en versión beta por lo que no todo el mundo puede acceder a ella desde la tienda. Sólo los desarrolladores pueden determinar quiénes son las personas que pueden acceder (Figura 5.5).

Creamos entonces un grupo de Google para hacer el testing de RACMA. Los componentes seríamos nosotros y nuestro director de proyecto, así como








CLASIFICACIÓN DE CONTENIDO		
	<b>CLASIFICACIÓN APLICADA</b> Enviada: hace 1 minuto <a href="#">Ver detalles</a> <a href="#">Más información</a>	     
CUESTIONARIOS		
FECHA	CERTIFICADO DE LA IARC	CORREO ELECTRÓNICO
hace 1 minuto		racma2015@gmail.com <a href="#">Cambiar</a> <a href="#">Ver detalles</a>

Figura 5.4: Página para la clasificación del contenido de la aplicación



Figura 5.5: Sólo los testers Alpha y beta pueden descargar la aplicación

nuestros clientes del museo. Creado el grupo, sólo debemos pasarle el link para la descarga de la app en la Play Store. La vista de la ficha de RACMA de la versión beta en la Figura 5.6.

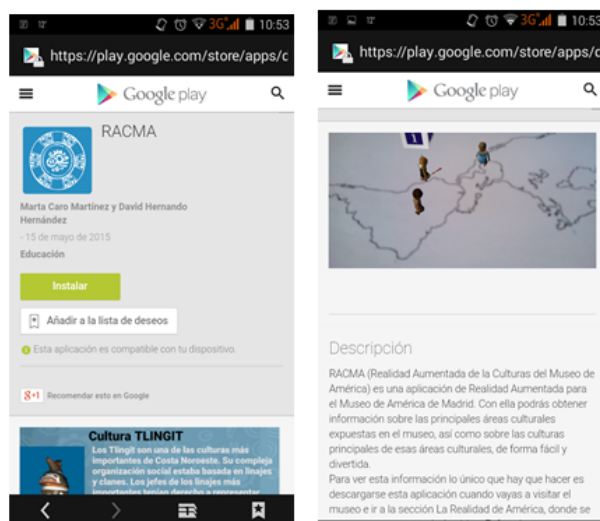


Figura 5.6: Ficha de RACMA en la versión beta

Una vez que nuestros clientes quedaron conformes con la versión definitiva de la aplicación, nos dan el visto bueno para subirla a producción. Como ya teníamos la versión beta subida a la tienda, sólo teníamos que pulsar un botón para abrirla al público. La vista de RACMA en Google Play Store se puede ver en la Figura 5.7.

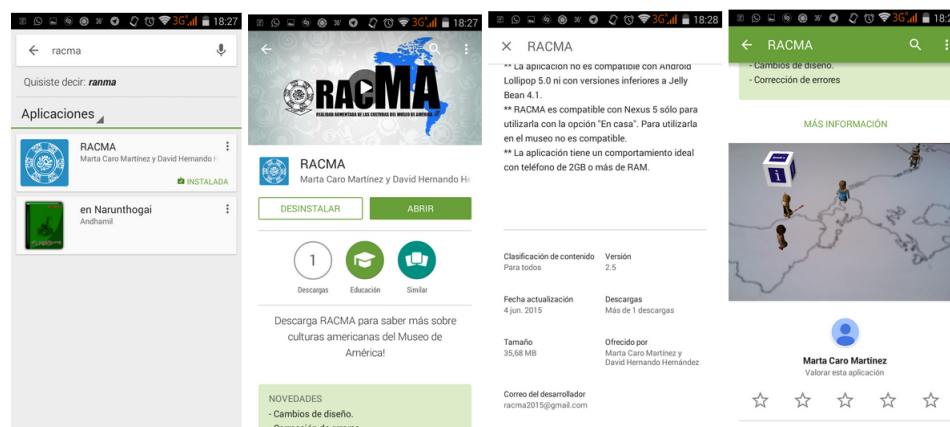


Figura 5.7: Vista de RACMA en la Google Play Store

La aplicación desde Play Store se puede descargar en la siguiente dirección: Descarga de RACMA en Google Play Store<sup>3</sup>

<sup>3</sup><https://play.google.com/store/apps/details?id=com.myproject.developersRACMAapp>



## Capítulo 6

# Evaluación con usuarios

Una vez que tenemos una versión de la aplicación muy avanzada y estable (en la iteración siete de la aplicación), nos disponemos a realizar evaluaciones con usuarios para poder detectar otros posibles problemas y ver qué tal se desenvuelve la aplicación cuando es utilizada, tanto dentro como fuera del museo por usuarios de varios rangos de edades.

En principio, teníamos pensado hacer una única iteración de evaluación. Sin embargo, debido a la gran cantidad de evaluaciones que habíamos hecho a principios de mayo, así como a la rapidez con la que empezamos a realizar cambios para generar una nueva versión de la aplicación, decidimos hacer una segunda iteración de evaluaciones. Esta segunda iteración sería bastante más corta que la anterior y se realizaría en paralelo con el final de la primera evaluación. El objetivo de la segunda vuelta fue comprobar que los cambios realizados en la primera daban lugar a una mejor experiencia de usuario y que los problemas encontrados se habían solucionado correctamente.

A continuación, presentamos el plan de evaluación, detallando cómo será la evaluación a los usuarios, las tareas que deben realizar y los cuestionarios que deben rellenar. También comentaremos cómo cuál será nuestro comportamiento como moderadores y observadores de las sesiones de evaluación.

Posteriormente, veremos cómo se desarrollaron las dos iteraciones de evaluación realizadas, independientemente la una de la otra. Para cada una de ellas, veremos cuántas personas realizaron la evaluación, cuáles son los errores más comunes que detectamos y cómo los solucionamos, y propuestas de cambio hechas por los evaluados, pero que al final no decidimos incluir por las razones que detallaremos en ese apartado. Para cada iteración, además

generamos un buen número de informes, ya que en total se realizaron evaluaciones a 40 personas. Se puede ver un ejemplo de informe en la Figura 6.1.

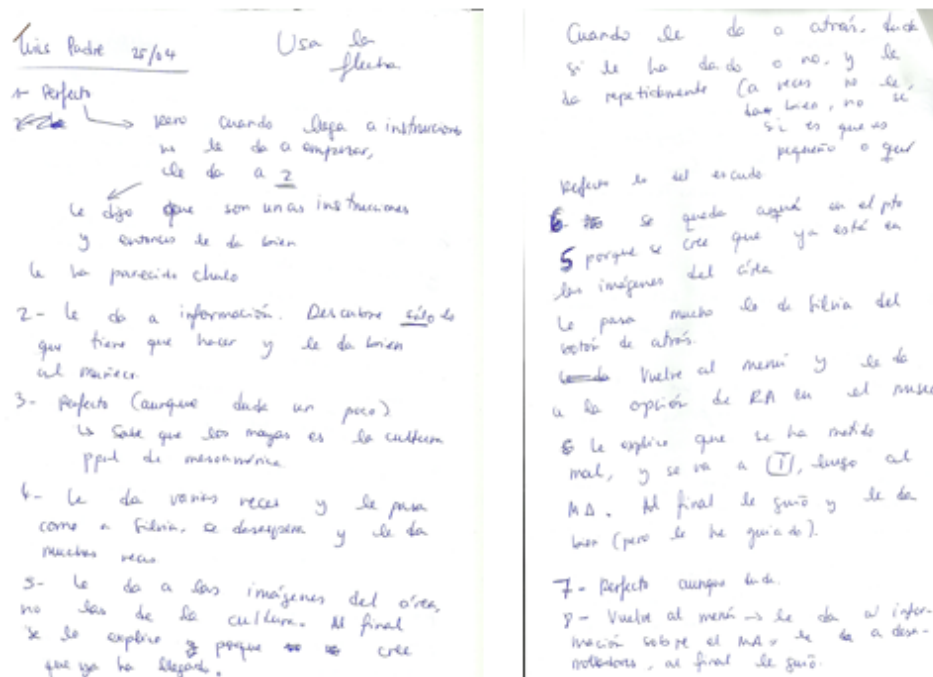


Figura 6.1: Ejemplo de informe recogido durante las evaluaciones

Después de detallar cada una de las iteraciones, pasaremos a analizar los resultados obtenidos en conjunto, centrándonos en los datos cuantitativos conseguidos a partir de los cuestionarios realizados.

## 6.1. Plan de evaluación

El plan de evaluación es común para las dos iteraciones realizadas y está basado en el plan de evaluación que aprendimos a realizar en la asignatura Desarrollo de Sistemas Interactivos.

¿Qué estamos evaluando?

- **Proyecto:** Realidad Aumentada de las Culturas del Museo de América (RACMA).
- **Premisa:** los visitantes de museos, incluyendo el de América, buscan aprender y obtener conocimientos del museo que van a ver, por eso es

importante que todos los elementos expuestos contengan información y que atraigan a todos los visitantes, independientemente de su edad o su nivel de estudios sobre el tema expuesto.

- **Objetivo de la aplicación:** hacer el mapa mudo más atractivo a los visitantes del museo y acercar a los mismos las distintas áreas culturales más destacadas de América de una manera interesante.

### 6.1.1. Propósito de la evaluación

Tras crear una versión evaluable de la aplicación deseamos comprobar que el diseño es adecuado y los distintos botones y contenidos cumplen su cometido. Se busca saber si la aplicación es adecuada tanto a nivel tecnológico, como a nivel informativo/cultural.

#### 6.1.1.1. Objetivos generales

Se realizará una prueba para evaluar los principales aspectos de la aplicación, tanto a nivel de interfaz como a nivel de contenido.

- Comprobar la eficacia de la interfaz: los usuarios tienen claro a dónde pueden llegar en la aplicación y qué opciones tienen.
- Comprobar la facilidad de manejo de la aplicación: las opciones son directas y los usuarios no tienen problemas para realizar las acciones.
- Evaluar si los visitantes adquieren conocimientos sobre las culturas de América y cuál es ese nivel de conocimientos.
- Evaluar el nivel de satisfacción de los usuarios con el uso de la realidad aumentada y con la aplicación en general.

#### 6.1.1.2. Preguntas de investigación

- ¿Se puede usar de manera efectiva RACMA?
- ¿Cómo están colocados los elementos y, sobre todo, los botones en la pantalla?
- ¿Hay componentes confusos en la interfaz?
- ¿El usuario es capaz de encontrar en la aplicación la información que desea?
- ¿El usuario es capaz de encontrar lo que desea de forma fácil y por lo tanto rápidamente?

- ¿Ayuda la aplicación a conocer mejor las áreas culturales de América y los contenidos expuestos en el museo?
- ¿Hay alguna funcionalidad crítica que esperamos que la aplicación tenga, pero que se echa en falta?

### 6.1.2. Requisitos para los participantes

Los participantes serán personas de distintos rangos de edades para tener muestras de cada uno de ellos.

- **Rango de edad:** menor de 18 años, 18-29 años, 30-45 años y 46 en adelante.
- **Especialidades:** necesitamos personas que tengan niveles de estudios superiores en informática, personas con conocimientos en culturas de América y personas que no tengan relación con ninguno de estos campos. El motivo de la realización de la prueba a personas con distintas familiaridades en el mundo tecnológico es asegurar que la aplicación y la RA son intuitivas para todo tipo de usuarios, especialmente para aquellos que no tienen demasiada relación con las nuevas tecnologías, ya que es a ellos a quienes creemos que les resultará más difícil el uso de la aplicación. Debemos asegurarnos la facilidad de uso para todos los tipos de personas que puedas visitar el museo.
- **Técnica de estudio:** necesitamos personas que suelen visitar museos con relativa asiduidad.

Las personas que usaremos para las evaluaciones serán familiares, amigos y conocidos (especialmente de la Facultad de Informática), trabajadores del museo y personas visitantes del museo.

### 6.1.3. Diseño experimental

- La evaluación se realizará entre los días 24 de Abril y 13 de Mayo de 2015.
- Se realizará hasta un total de 10 evaluaciones más o menos por cada rango de edad según nos sea posible, ya que probablemente el mayor número de personas que tengamos disponibles sea el de 18-30.
- Duración aproximada de cada evaluación individual: 30 minutos.
- Duración total de la evaluación: aproximadamente 20 h contando las evaluaciones de todos los participantes.

**El plan a realizar con el usuario es:**

1. Realizar cuestionario para conocer lo que sabe el usuario en un primer momento.
2. Introducir al usuario en qué consiste la realidad aumentada y RACMA (esto último en muy poca profundidad).
3. Dar la lista de tareas al usuario y pedirle que las realice. Debe realizarlas sin nuestra ayuda a no ser que el usuario se quede atascado y no sepa avanzar. Mientras tanto, el observador o moderador irá tomando nota de cómo el usuario realiza las tareas, y el usuario debe ir contando en voz alta (*Think Aloud*) sus impresiones. También se podrá grabar en vídeo la evaluación, siempre que nos sea posible y tengamos el consentimiento del usuario.
4. Pequeño diálogo entre moderador y evaluado, preguntándole qué tal ha ido, qué es lo que más le ha gustado y si tiene alguna queja en concreto.
5. Realización de dos encuestas finales sobre el grado de satisfacción del usuario con la aplicación: realización de tareas y *Measuring Usability With The System Usability Scale* (SUS). (Sauro (2011)).
6. Recopilación de datos:
  - a) A partir de las encuestas, obtendremos datos cuantitativos sobre la experiencia de usuario.
  - b) Con la información recopilada durante la observación, obtendremos datos cualitativos que nos permitirán detectar cuáles son los errores más comunes que han cometido los usuarios. Analizaremos estos problemas.

**6.1.4. Tareas a realizar**

Estas tareas están directamente relacionadas con la herramienta que va a ser evaluada y pueden ser evaluadas tanto para el mapa en papel, como para el mapa del museo (dependiendo de la situación de la evaluación):

1. Busca la opción de realidad aumentada que te corresponda.
2. Obtén información sobre un área cultural (mesoamericana).
3. Observa cuál es la cultura más importante de ese área cultural y descubre más sobre ella.
4. Vuelve al menú principal.

5. Observa las imágenes de una cultura de otra área cultural distinta a la que habías visto anteriormente (amazonas). Intenta ver el escudo de madera de forma ampliada.
6. Dentro de esa área cultural que estás viendo, revisa sus imágenes y donde está situada esa área cultural en el museo.
7. Obtén más información en internet sobre la pieza “Vasija antropomorfa” que estabas observando en la galería de imágenes del paso 6.
8. Busca ayuda o información sobre qué es un área cultural.
9. Entra en otra área cultural (andina) y descubre información sobre ella. Encuentra el área en el museo.
10. Mira la cultura principal del área cultural que has visto antes, en el paso 9.
11. Busca información de cómo usar la aplicación.
12. Localiza la pieza “Hacha ceremonial” dentro del museo para la cultura principal del área cultural noroeste.
13. Encuentra información sobre el museo e intenta localizar donde está situado.
14. Identifica quienes son los desarrolladores de la aplicación.
15. Cambia al idioma a “Inglés” y observa que se ha realizado correctamente el cambio del menú principal.

Estas tareas tienen que ser ejecutadas por el usuario en el orden en el que aquí se ha guionizado, con el objetivo de que el usuario dé vueltas en la aplicación y se familiarice con ella.

#### **6.1.5. Entorno y las herramientas que vamos a emplear**

La evaluación se llevará a cabo en la sala del museo para las tareas que conciernen el uso del mapa mudo del museo. El resto se podrá hacer en una sala provista de una mesa, sillas, un teléfono móvil y fotocopias de los marcadores a utilizar.

#### **6.1.6. Obtención de *feedback* de los participantes**

Contemplamos varias fuentes de datos:

1. Se realizará una encuesta inicial para conocer el contexto del usuario antes de realizar la evaluación.

2. La interacción se grabará si es posible en vídeo, para registrar los momentos específicos en los que la interfaz resulta confusa.
3. Haremos un *debriefing* con el participante justo al terminar la evaluación.
4. Los participantes recibirán un cuestionario que han de rellenar. El cuestionario tiene un total de 12 preguntas, cada una de ellas representando una tarea general de la aplicación, en las que se les pedirá que evalúen cada tarea en una escala de 1-10 (donde 1 representa muy difícil o confuso y el 10 representa fácil de realizar o nada confuso). Además habrá tres preguntas más, donde el usuario podrá escribir libremente sobre su opinión de RACMA.
5. Por último, una vez terminada la evaluación los usuarios, realizarán una pequeña encuesta de satisfacción SUS, que medirá la usabilidad.

#### 6.1.7. Tareas del moderador

- El moderador-observador se encargará primeramente de explicar al usuario de qué va la aplicación (muy brevemente y sin entrar en detalles) y qué es la RA.
- Se encargará de pedir al usuario que realice las tareas especificadas, y observará y apuntará todo aquello que considere relevante durante la realización de la evaluación. Lo más importante es detectar los problemas del usuario y el tiempo que tarda en realizar las tareas. No intervendrá a no ser que el usuario no sepa avanzar pasados unos minutos.
- Pedirá al usuario que comente en voz alta sus impresiones (*Think Aloud*).
- En las evaluaciones en las que sea posible, el moderador grabará en vídeo las tareas realizadas.
- También se encargará de hacer un par de preguntas al usuario para comprobar qué tal ha ido la evaluación.
- Además, pedirá al usuario la realización de los cuestionarios para recolección de datos.

#### 6.1.8. Descripción de la metodología de análisis de datos

1. Los cuestionarios son procesados por Google Drive en la medida de lo posible, ya que en el museo hay red, por lo que nos llevaremos un ordenador y haremos los cuestionarios in situ. Por si hubiera problemas,

llevaremos impresos los cuestionarios. Los vídeos grabados serán revisados, analizando y anotando los principales detalles (errores, dificultad para llegar a opciones, etc.).

2. A partir de estas notas, más las notas tomadas durante la evaluación, se observarán cuáles son las tareas que más tiempo se tardan en realizar y se estudiará si ese tiempo es excesivo.
3. Se pondrán en común las conclusiones a las que ha llegado cada miembro del grupo a través de los tres puntos anteriores.
4. Realización de un informe global de los errores y posibles mejoras encontradas.
5. Realización de un informe global de soluciones para el punto anterior.

## 6.2. Primera evaluación: octava iteración de la aplicación

En esta primera evaluación con usuarios, que empezó el 24 de abril y terminó el 13 de mayo, efectuamos un total de 34 evaluaciones (de unos 30-45 minutos cada una), con 6 evaluaciones dentro del museo y 28 evaluaciones desde casa. El reparto de evaluaciones entre los distintos rangos de edades ha sido lo más equitativo posible dentro de nuestras posibilidades:

- Menores de 18 años: 2 personas.
- Entre 18 y 29 años: 15 personas.
- Entre 30 y 45 años: 8 personas.
- Mayores de 46 años: 9 personas.

Además hemos intentado que dentro de cada rango de edad haya personas cuya profesión está relacionada con las nuevas tecnologías y personas que no, ya que creemos que las que están relacionadas con las tecnologías tendrán una mayor facilidad de uso de la aplicación. Aproximadamente el 40 % de los usuarios tenían una profesión ligada al mundo de la tecnología mientras que el 60 % restante no lo tenía.

Esta primera evaluación está marcada por la rapidez con la que se ejecutó durante las primeras semanas de la planificación. Por lo que en seguida pudimos empezar a realizar cambios sobre la misma aplicación, para generar una nueva versión del prototipo. Esta nueva versión (la octava) estaría finalizada el día 3 de mayo de 2015. Es a partir de esa fecha cuando empezamos a hacer pruebas para una segunda iteración de evaluación, aunque seguimos



realizando pruebas para la primera iteración, de forma que efectuamos evaluaciones en paralelo con la versión del 19 de abril y con la nueva versión cerrada el 3 de mayo.

### 6.2.1. Informe de resultados y soluciones

Aquí exponemos detalladamente los errores detectados y reportados por lo usuarios de las evaluaciones, así como los que hemos detectado nosotros durante la evaluación aunque los usuarios no se hayan dado cuenta. Vamos a enumerar los problemas y ver la solución que damos a ellos:

#### Problema 1

Descripción: los usuarios confunden los términos de área cultural y cultura principal.

Solución: incluimos más información sobre ambos términos en las infografías, para que puedan identificar mejor la diferencia desde un primer momento: Figura 6.2.

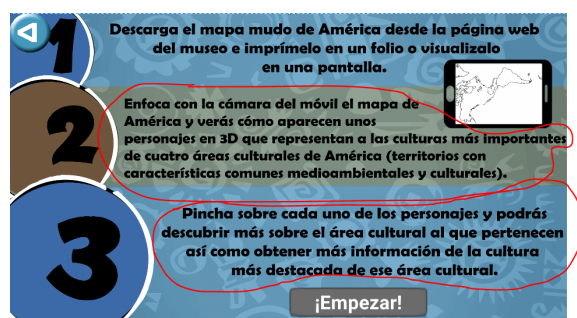


Figura 6.2: Inclusión de información en las infografías

#### Problema 2

Descripción: la aplicación tarda demasiado en cargar la ventana donde se hace uso de la cámara del teléfono. Aunque se había introducido anteriormente una vista intermedia con un mensaje “Cargando...” para ir desde el menú principal a dicha ventana, no se había añadido cuando se volvía atrás desde un área cultural a la cámara.

Solución: añadimos una ventana que dice “Cargando...” cuando se pulsa el botón “Atrás” desde la ventana de un área cultural para evitar frustración en el usuario o que piense que la aplicación se ha quedado parada.

#### Problema 3

Descripción: no se ve con claridad cuál es la cultura principal de un área cultural.

Solución: hacer el texto del botón de la cultura más descriptivo. Decidimos

poner “Ver Cultura X” y no “Ver X”. Por ejemplo “Ver Cultura Maya” en lugar de “Ver Maya”.

#### Problema 4

*Descripción:* para algunos usuarios resulta tedioso que se muestre una infografía de ayuda sobre cómo usar la aplicación siempre que se pulsa sobre una de las dos opciones de RA del menú principal.

*Solución:* decidimos que las infografías de ayuda sólo se muestren al acceder a las opciones de RA la primera vez que el usuario entre a estas funcionalidades. Añadimos en el menú principal un botón de ayuda en la esquina superior izquierda para que el usuario pueda acceder a ellas en el caso de que lo necesite. Figura 6.3.



Figura 6.3: Inclusión del botón de ayuda en el menú principal

#### Problema 5

*Descripción:* cuando se amplían las imágenes de las galerías, estas se ven algunas mal recortadas y deformadas.

*Solución:* solicitamos al museo que nos proporcione las imágenes en buena calidad y bien recortadas. Por nuestra parte revisamos y mejoramos el código para que ninguna imagen salga deformada.

#### Problema 6

*Descripción:* en la galería de imágenes si se hace scroll por la parte izquierda (donde la vista previa de las mismas) a veces se amplía sin que el usuario quiera.

*Solución:* se reduce la zona donde hay que pulsar para ampliar la imagen.

#### Problema 7

*Descripción:* el botón de volver atrás es inconsistente con el resto de la aplicación. Algún usuario comenta que no es acorde al resto del diseño.

*Solución:* añadimos un nuevo botón acorde a los colores de la aplicación. En la figura 6.4, podemos ver el cambio del botón realizado.



Figura 6.4: Botón de atrás durante (izq.) y después (dcha.) de la primera evaluación

### Problema 8

Descripción: es difícil encontrar la ubicación del museo desde la aplicación ya que para ello tienes que acceder a la web del museo y buscarlo ahí. Figura 6.5.



Figura 6.5: Ventana “Más sobre el Museo de América” durante la primera evaluación

Solución: añadimos un botón en la ventana del museo donde pone: “Cómo llegar...”. Figura 6.6.



Figura 6.6: Ventana “Más sobre el Museo de América” después de la primera evaluación

### Problema 9

*Descripción:* la infografía de ayuda para usar la aplicación en el museo es poco intuitiva y genera dudas al usuario. Figura 6.7.



Figura 6.7: Infografía de ayuda para la parte en el museo, durante la primera evaluación

*Solución:* decidimos crear una nueva siguiendo el mismo diseño que la infografía de ayuda desde casa. Figura 6.8.

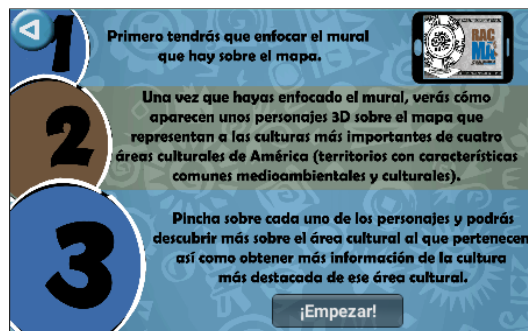


Figura 6.8: Infografía de ayuda para la parte en el museo, después de la primera evaluación

### Problema 10

*Descripción:* el título que aparece en la pantalla de una cultura es: “Nombre\_cultura (Área cultural nombre\_area\_cultural)” lo que genera dudas al usuario sobre dónde se encuentra.

*Solución:* se cambia el título, sustituyéndolo por el siguiente: “Cultura Nombre\_cultura”.

### Problema 11

*Descripción:* en la galería de imágenes no se ve a primera vista cuáles son las piezas que se están visualizando, ya que todo el texto está en el mismo color. Figura 6.9.



Figura 6.9: Galería de imágenes durante la primera evaluación

*Solución:* se pone el nombre de la pieza en color gris para que destaque sobre el resto del texto, con el objetivo de que el usuario pueda identificar mejor y más rápidamente cuáles son las piezas que se están visualizando. Figura 6.10.



Figura 6.10: Galería de imágenes durante la primera evaluación

### Problema 12

*Descripción:* el botón para cambiar el idioma de la aplicación es un poco pequeño y no se ve bien.

*Solución:* se cambia el tamaño del botón y se hace un poco más grande.

### Problema 13

*Descripción:* durante la ejecución de la aplicación, se cierra el proceso, sin ningún tipo de explicación. Es un problema que genera confusión a los usuarios, ya que no saben si han sido ellos quienes les han dado a algún botón o que la aplicación se ha salido sola. En un principio no sabíamos cuál podía ser la causa, hasta que empezamos a pensar que podría ser por un desbordamiento de memoria. Realizando pruebas nos dimos cuenta que estábamos

en lo cierto, ya que con móviles de RAM de 1GB ocurre con mucha más asiduidad que con móviles de 2GB.

Solución: lo dejamos como trabajo para el futuro, ya que cuando intuimos cuál podría ser el problema, era demasiado tarde como para que nos diese tiempo a solucionarlo.

#### Problema 14

Descripción: muchos de los usuarios que han realizado las pruebas en casa han tenido problemas con la luz. Si la habitación estaba oscura, no había un buen reconocimiento de la imagen.

Solución: decidimos poner un aviso en la ficha de la Play Store, cuando subamos la aplicación a la tienda.

#### Problema 15

Descripción: algunos de los usuarios se quejaron de que el scroll en la galería de imágenes bajaba y subía muy lentamente, lo que les irritaba bastante.

Solución: aumentar la velocidad del scroll.

### 6.2.2. Sugerencias de nuevas funcionalidades por parte de los usuarios

A continuación, numeramos las propuestas que los usuarios realizaron durante la prueba y el por qué de no haberlo incluido en la aplicación:

- Creación de nuevos layouts para tablets. No incluido por falta de tiempo, lo dejamos como línea de trabajo futuro.
- Creación de versiones para otros sistemas operativos: iOS y Windows Phone. No incluido por falta de tiempo y dinero, ya que la licencia de iOS es de 99\$. También sería una línea de trabajo futuro.
- Creación de algún juego. Lo dejamos como línea de trabajo futuro, por falta de tiempo.
- Creación de una etiqueta que se ubique encima de la cabeza de cada uno de los personajes, identificando cuál es el área cultural o la cultura a la que pertenece sin tener que entrar en la ventana de información del área. Creemos que es una buena idea como método de identificación, pero puede llegar a saturar la escena en el caso de que se añadiesen personajes para otras culturas. Decidimos no incluirlo por esta razón.
- Creación de un sistema de búsqueda por palabras, de forma que el usuario pueda buscar, por ejemplo “maya”, y le redirija directamente a la ventana de esa cultura. También creemos que es una buena idea, pero no para una versión en la que hay sólo cuatro culturas. Si se añadiesen más, tendría mucho más sentido esta funcionalidad.

- Creación de animaciones para el mapa del museo. Por problemas con distancias y profundidades y por falta de tiempo, no fue posible añadirlo a esta versión, por lo queda pendiente para futuras versiones de RACMA.
- Creación de una nueva funcionalidad que permita ver el progreso de las culturas a lo largo del tiempo. Lo dejamos como línea de trabajo futuro, por falta de tiempo.
- Inclusión de más información para cada una de las áreas y culturas. No lo añadimos debido a que el cliente considera que la información contenida en la aplicación debe ser breve para que la gente no se sature al ver tanto texto, y la lea con mayor agilidad.
- Incluir la infografía de forma que aparezca antes que el propio menú al iniciar la aplicación. Consideramos que sería demasiado incómodo para el usuario, ya que algunos de los evaluados ya se quejaron de que apareciesen las infografías siempre que se acceda a las opciones de RA, con lo cual esto les produciría una peor experiencia.
- Identificación de las culturas y áreas culturas por colores. Este cambio no lo vimos factible puesto que no hay una relación entre una cultura y un color determinado. Es decir, cuando un usuario llega al museo no tiende a asociar una cultura, por ejemplo la maya, con un color concreto. Vimos entonces que sería innecesario, ya que teniendo el personaje al lado, se identifica cuál es esa cultura.
- Añadir animaciones al botón “Empezar” de las infografías, para que esté más destacado y el usuario pueda verlo fácilmente. Habiendo modificado las infografías, no vimos necesario hacer este cambio, ya que el botón queda bastante destacado en la parte inferior de la pantalla.
- Colocar el botón de galería de imágenes dentro del botón “En el museo”. Ni siquiera lo contemplamos, ya que el cliente no está de acuerdo con ese diseño.
- Unificar el botón de galería de imágenes de forma que haya sólo un botón de galería y dentro se elija qué galería ver, si la del área o la de la cultura principal. Por la misma razón que la anterior, no la contemplamos.
- Unificar el botón de realidad aumentada en uno sólo y que, tanto en casa como en el museo, se pueda usar el mismo botón. A estas alturas del proyecto, era imposible contemplar esa posibilidad ya que el diseño estaba basado en dos escenas diferentes.

- Cambiar el mensaje “Enfoca el mapa” por “Enfoca el mapa entero”. No es necesario enfocar el mapa entero para que se reconozca, aunque sí buena parte. Por ello, no lo incluimos.
- Posibilidad de crear una funcionalidad para compartir la información por whatsapp, correo, etc. No lo vemos del todo una funcionalidad primordial para este tipo de aplicaciones, aunque sería interesante para la difusión de la aplicación, por lo que lo dejamos como posible línea de trabajo futuro.
- Inclusión de más personajes y culturas. Por decisión del cliente en esta versión sólo se van a incluir cuatro personajes, por lo que lo dejamos como trabajo futuro.
- Incluir, además de inglés, más idiomas. Por falta de tiempo, lo dejamos como línea de trabajo futuro.
- Cambio del icono de acceso a Internet, sustituyendo el de Chrome, por el de Internet Explorer. No realizamos el cambio, ya que el navegador Chrome está creciendo en número de usuarios, llegando a desbancar a Internet Explorer, según Adobe Digital Index. (Index (2014)).

Como se puede observar, muchas de las propuestas no se añadieron debido a que había otros cambios que realizar más primordiales, por lo que al priorizar estos cambios, no pudimos realizar los que hemos comentado en este apartado. Quedan como líneas de futuro trabajo.

### 6.2.3. Conclusiones más relevantes

Entre las conclusiones más importantes que sacamos de esta primera evaluación es que a la gente por lo general les encanta el diseño y además a todo el mundo le gustan los personajes en tres dimensiones.

A mucha gente le cuesta diferenciar entre área cultural y cultura, por lo que vamos a ver en una segunda evaluación si los cambios que hemos realizado en esta versión son suficientes para solucionar el problema.

Como sospechamos durante la creación del séptimo prototipo, ningún usuario se ha quejado de la vibración de los muñecos en las evaluaciones en el museo. Descartamos entonces cualquier cambio con respecto a eso, ya que es tan imperceptible que los usuarios no lo han notado.

En general las sensaciones de la gente con la aplicación son buenas. Los usuarios aprenden rápido a usarla y ninguno piensa que necesitaría aprender mucho ni la ayuda de un experto para hacer uso de ella. Sí es cierto que la



gente mayor de 46 tiene más dificultades para usar la aplicación y aprender los conceptos, por lo que esperamos que los cambios realizados les ayuden a tener una mejor experiencia.

Al final de las evaluaciones presentaremos unas gráficas con los resultados obtenidos en cada uno de los tres formularios que han rellenado los usuarios para sacar unas conclusiones más globales.

### 6.3. Segunda evaluación: novena iteración de la aplicación

Después de la generación de la nueva versión de la aplicación con los cambios citados en el apartado anterior vamos a realizar una segunda evaluación con un número más reducido de personas, en concreto, a 6 personas: 3 de entre 18 y 29 años, 1 entre 30 y 45 y 2 de más de 46 años. De las 6 evaluaciones, 2 se hicieron en el museo y las 4 restantes en casa. Esta segunda evaluación empezó el 3 de mayo y terminó el 13 de mayo de 2015.

A continuación, igual que con los resultados de la primera iteración, presentamos las soluciones a los problemas encontrados y las propuestas de cambio que al final no incluimos en el prototipo.

#### 6.3.1. Informe de resultados y soluciones

##### Problema 1

Descripción: la jerarquía de los botones en la pantalla del área cultural es confuso para el usuario, debido a que cree que las imágenes y la información en el museo pertenecen a la cultura y no al área cultural. Figura 6.11.

Solución: decidimos cambiar la jerarquía con la aprobación del cliente, colo-



Figura 6.11: Jerarquía de botones durante la evaluación

cando el botón de la cultura debajo del de la galería de imágenes y del de “En el museo”. Además, cambiamos los textos de los botones para que sean aún más descriptivos, poniendo “Imágenes del área” en lugar de “Imágenes” y “El área en el museo” en lugar de “En el museo” para hacer que el usuario pueda identificar más fácilmente a qué información va a acceder al pulsar esos botones. Figura 6.12.



Figura 6.12: Jerarquía de botones después la evaluación

## Problema 2

**Descripción:** el botón de la cultura más importante del área cultural no destaca y el usuario a veces no sabe que es un botón que es interesante que pulse. También creemos necesario que los botones sean acordes al diseño general de la aplicación.

**Solución:** nos ponemos de acuerdo con el cliente para hacer el botón distinto al resto y cambiamos su color, en este caso a amarillo, para que tenga el mismo tono que el área señalada en el mapa. El resto de botones que hay dentro de la cultura también serán amarillos. Además, decidimos rediseñar todos los botones cambiando su aspecto para que el color del botón sea más destacable. Figura 6.13 y Figura 6.14.



Figura 6.13: Cambio de colores de los botones de la cultura principal



Figura 6.14: Cambio de colores de los botones de la galería de la cultura principal

### 6.3.2. Sugerencias de nuevas funcionalidades por parte de los usuarios

Como en la primera iteración, hacemos un repaso de sugerencias que los usuarios nos han hecho y el por qué de no haberlo añadido a la versión de la aplicación.

- En la opción del mapa en papel, incluir una animación en el cubo de información, para que rote. Descartamos la sugerencia porque creemos que es innecesario, ya que distraerá de lo que de verdad importa, que son los personajes.
- Incluir un rótulo para cada botón que está definido como un icono. Por ejemplo: incluir en el icono idiomas un rótulo que diga “Idiomas”. Descartamos por falta de espacio en la pantalla de un teléfono móvil.
- Poner un rótulo en el botón de salida a Internet, que te especifique que ese botón te permite acceder a “Más información”. Como lo anterior, lo descartamos por falta de espacio en la pantalla.
- Permitir la autorrotación en la aplicación. No lo incluimos por falta de tiempo, al no ser una funcionalidad primordial. Se deja como línea de trabajo futuro.
- Realizar zoom con lo dedos en las imágenes, permitiendo así ver mejor los detalles. Por la misma razón que la anterior, lo dejamos como línea de trabajo futuro.

### 6.3.3. Conclusiones más relevantes

En esta segunda evaluación vemos que los usuarios usan la aplicación con una mayor facilidad que en la primera evaluación. Sólo hacemos cambios meramente visuales para originar que el usuario entienda más fácilmente ciertos

conceptos.

Hemos podido ver cómo la gente se divertía viendo a los personajes en tres dimensiones delante de ellos pudiéndolos tocar casi con la mano. Otros han destacado el diseño y la originalidad de la tecnología recomendándola a otros usuarios y museos. La gran mayoría también se ha quejado de que les gustaría ver más áreas culturales y versiones para otros sistemas operativos.

## 6.4. Resúmenes globales de las evaluaciones

En total efectuamos evaluaciones a 40 usuarios, en cada una de las cuales realizamos tres cuestionarios a cada usuario, cada uno con un objetivo distinto. La primera encuesta, al principio de la evaluación, se realizó con el objetivo de conocer a los usuarios y su contexto con respecto a la realidad aumentada y su uso en museos. El segundo cuestionario, al final de la evaluación, se elaboró con el objetivo de conocer la percepción de los usuarios realizando cada una de las tareas de la aplicación, de forma que pudiesen valorar cada tarea y comentar sus impresiones. Concluimos la evaluación con una encuesta SUS para medir la usabilidad de la aplicación.

A continuación, mostraremos los resultados obtenidos en las tres encuestas realizadas: la de conocimiento del usuario en el apartado 6.4.1, la de valoración de las tareas en el apartado 6.4.2 y la encuesta SUS en el apartado 6.4.3.

### 6.4.1. Encuesta inicial para conocer al usuario

Lo que hemos podido conocer a través de esta encuesta es el perfil de los usuarios que iban a realizar la evaluación. Con los resultados obtenidos podemos ver que el rango de edades es variado, estando todos los rangos cubiertos, aunque siendo el rango de 18 a 29 años algo más numeroso debido a que nuestro entorno más cercano está compuesto mayoritariamente por personas de esa edad.

Hemos podido ver también que la mayoría de estas personas no tiene demasiado conocimiento sobre culturas americanas, lo que les hace ser buenos usuarios para nuestra aplicación, ya que con ellos podremos valorar si con RACMA adquieren conocimientos sobre América.

Vemos también que muchas de estas personas están interesadas en las nuevas tecnologías, pero no se dedican profesionalmente a ello. Además muchas de ellas no conocen lo que es la realidad aumentada, siendo esto una buena característica como usuarios de la evaluación, ya que podremos conocer cuál

es la primera impresión que les provoca esta tecnología.

Será en las siguientes encuestas donde podremos concluir cuál es la percepción de los evaluados en cuanto a aprendizaje en realidad aumentada y en los propios contenidos de la aplicación.

En las figuras B.1, B.2, B.3, B.4, B.5, B.6 y B.7 del Apéndice B se pueden ver las gráficas de los resultados obtenidos en las preguntas más relevantes de la encuesta.

Se puede ver el cuestionario completo aquí: Encuesta inicial para la evaluación de RACMA<sup>1</sup>

#### 6.4.2. Encuesta de valoración de las tareas y sugerencias

En este cuestionario, pudimos valorar la impresión de los usuarios al realizar las tareas planteadas en la evaluación. Podemos concluir que la sensación general de los usuarios con las funcionalidades desarrolladas en RACMA ha sido buena, llegando a muy buena en el caso de los usuarios más jóvenes.

Hemos podido observar que el menú principal de la aplicación es claro y conciso, de forma que no genera confusión entre los evaluados. Lo mismo ocurre con la galería de imágenes: la sensación de los usuarios es que los elementos en esta ventana no dan lugar a equivocaciones.

Por otro lado, concluimos que, aunque la sensación de los usuarios con respecto a las ventanas de realidad aumentada no ha sido mala, sí ha sido la que más confusión ha producido en los evaluados. Muchos no sabían diferenciar los conceptos de área cultural y cultura principal y eso ha estado reflejado en los resultados de la encuesta. Con los cambios realizados tras la primera evaluación, vemos que en la segunda esta percepción mejora con respecto a los resultados de la primera iteración, lo cual también se refleja en la encuesta.

Igual que en la anterior, en las figuras B.8, B.9, B.10 y B.11 del Apéndice B se pueden ver las gráficas de los resultados obtenidos en las preguntas más relevantes de la encuesta. Se puede ver completa aquí: Encuesta de valoración de tareas en RACMA<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup>[https://docs.google.com/a/ucm.es/forms/d/1UD\\_YbpIHb2Ysa29ApwJjIVKnnTt1zqpuNhJLnfIgguo/viewanalytics](https://docs.google.com/a/ucm.es/forms/d/1UD_YbpIHb2Ysa29ApwJjIVKnnTt1zqpuNhJLnfIgguo/viewanalytics)

<sup>2</sup>[https://docs.google.com/a/ucm.es/forms/d/1JvydpnlZpWt09z-7riCCRx-4Q4nznvPOB\\_tbYr4PQp6c/viewanalytics](https://docs.google.com/a/ucm.es/forms/d/1JvydpnlZpWt09z-7riCCRx-4Q4nznvPOB_tbYr4PQp6c/viewanalytics)

### 6.4.3. Encuesta de satisfacción (SUS)

Para ver la encuesta completa, tanto las preguntas realizadas como las respuestas dadas por los usuarios, se puede acceder al siguiente enlace: Encuesta de valoración de SUS con RACMA<sup>3</sup>

Con respecto a esta encuesta de satisfacción lo más interesante es obtener la puntuación SUS de la aplicación. Para ello se siguen las siguientes directrices:

1. Para las preguntas impares se resta uno al valor respondido.
2. Para las pares restamos al valor 5 el valor respondido.
3. Sumamos todos los valores obtenidos tras realizar el paso 1 y 2.
4. Multiplicamos por 2,5 y obtendremos la puntuación SUS.

En la primera evaluación con usuarios se ha obtenido una puntuación de 83,3. En la segunda evaluación se mejora algo la puntuación, llegando a los 87,5.

Ambas medias siempre han estado por encima de los 68, puntuación considerada como la mínima a partir de la cual una evaluación es satisfactoria, por lo que podemos decir que nuestra aplicación ha obtenido una muy buena nota en esta evaluación, en concreto hemos obtenido una nota de A, es decir, por encima de 80,3. La nota A es la máxima nota que se puede obtener, tal y como vemos en la figura 6.15. Como media entre todas las evaluaciones

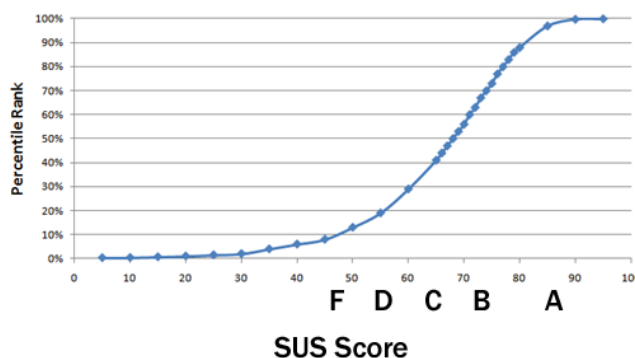


Figura 6.15: Puntuaciones posibles en la encuesta SUS

obtenemos un **83,94 de puntuación** situándose también en zona de **nota A**. Por lo tanto, podemos concluir que la usabilidad de RACMA es muy buena.

<sup>3</sup><https://docs.google.com/a/ucm.es/forms/d/1oE1a8GRKn6YfB1TAghY4IthANxk8wRbkmMX4BPP2VX4/viewanalytics>

#### 6.4.4. Conclusiones obtenidas de las encuestas

Hemos podido comprobar en estas encuestas que la impresión que habíamos tenido al hacer las pruebas era la correcta. La experiencia de los usuarios ha sido muy buena, a todos les ha gustado la realidad aumentada, les ha divertido la aplicación y creen que ha sido útil y que se deberían implantar más aplicaciones de este tipo en otros museos, ya que han aprendido sobre lo que se expone en el museo. Además, la mayoría proponen incluir más funcionalidades, culturas y plataformas, por lo que les encantaría que la aplicación se ampliase. La mayoría no ha tenido grandes dificultades usando la aplicación y han aprendido rápidamente cómo funcionaba y dónde debían buscar la información. Los resultados de su percepción, por lo tanto, concuerdan con la percepción que hemos tenido nosotros al hacer las evaluaciones.

### 6.5. Dispositivos probados

Durante las evaluaciones con usuarios, aprovechamos para pedirles a algunos de ellos que se descargasen la aplicación desde un link de nuestra carpeta de Drive. Los que se muestran en la tabla 6.1 fueron los dispositivos usados, junto con las versiones de Android que tiene cada móvil.

Dispositivo	Versión Android	Funciona	Observaciones
Google Nexus 5	Lollipop 5.1	A medias	Fallo cuando se usa en interiores o zonas un poco oscuras por una incompatibilidad de Vuforia con Nexus 5.
LG G2	KitKat 4.4.2	Sí	-
Motorola Moto G Primera generación	Lollipop 5.0.2	No	Problema de compatibilidad con Vuforia
Samsung Galaxy S4	KitKat 4.4.2	Sí	-
Doogee Valencia DG800	KitKat 4.4.2	Sí	-
LG G3	Lollipop 5.0	No	Problema de compatibilidad con Vuforia
Orange Luno	KitKat 4.4.2	Sí	-
BQ Aquaris 4.5	KitKat 4.1.1	Sí	-
Xiaomi mi4	KitKat 4.4.4	Sí	-
Sony Xperia Z2	Lollipop 5.0.2	No	Problema de compatibilidad con Vuforia
Sony Xperia U	Gingerbread 2.3.7	No	La versión de Android es demasiado antigua.
Samsung GT-S6310N	KitKat 4.1.2	Sí	-
Samsung Galaxy 5	Lollipop 5.0	No	Problema de compatibilidad con Vuforia

Tabla 6.1: Tabla comparativa de dispositivos probados

Estas pruebas tenían como objetivo descubrir cuáles son las incompatibilidades de nuestra aplicación con diferentes dispositivos móviles e intentar determinar cuáles son las causas de estas incompatibilidades. Viendo los resultados obtenidos, podemos concluir lo siguiente:

- Sólo hay un dispositivo móvil que tenga incompatibilidad directa con Vuforia, y es el Nexus 5, tal y como explicamos en esta misma memoria anteriormente. Por lo tanto, con el Nexus 5 no se podrá utilizar la aplicación en el museo, ya que la vista de la cámara es demasiado oscura y no detecta el marcador. Con la opción del mapa en papel, no tiene problemas, sin embargo.
- El resto de incompatibilidades no se deben a problemas con los dispositivos en sí, sino con la versión de Android que tenga el móvil. Descubrimos, entonces, que la versión de Android Lollipop 5.0.X (Lollipop 5.0 o Lollipop 5.0.2) no permite que la cámara de Vuforia se ejecute, como ya hemos comentado en el capítulo 3. RACMA se ejecuta sin problemas en las vistas en las que la cámara de Vuforia no se ejecuta. Cuando se accede a ella es cuando la aplicación se cierra.
- Realizando una prueba con un dispositivo con una versión de Android bastante antigua, detectamos que la aplicación es incompatible con ese móvil. En este caso no se trata de incompatibilidad con la librería Vuforia, si no con la aplicación en sí. El problema que nos encontramos es que al abrir la aplicación, la pantalla se queda directamente en negro, por lo que el usuario ni siquiera llega a ver el menú principal de la aplicación. Para que la aplicación no sea descargada por usuarios con dispositivos con versiones de Android antiguas, decidimos configurarla para que sólo esté disponible en Play Store para versiones de Android Jelly Bean 4.1 o superior.
- Para el resto de móviles usados no hemos encontrado problemas de compatibilidades, ni de ejecución ni de vistas: en todos los móviles se veía la información y los botones perfectamente. No había textos mezclados, elementos superpuestos, problemas con animaciones, problemas con los modelos en 3D, ni con las vistas de la cámara de realidad aumentada.



## Capítulo 7

# Conclusiones y trabajo futuro.

En este capítulo concluiremos la presente memoria con un análisis del trabajo realizado, así como de las decisiones tomadas y los resultados obtenidos como consecuencia.

Por último, haremos una revisión del impacto que está teniendo nuestra aplicación actualmente y del que tendrá en el futuro, y enumeraremos las líneas de trabajo futuro que tiene RACMA.

### 7.1. Conclusiones

Como hemos podido observar durante las primeras etapas del proyecto, los usos de la realidad aumentada son innumerables y se pueden aplicar en diversos ámbitos sociales. Desde el entretenimiento, como es el caso de los videojuegos, pasando por la educación, hasta aplicaciones mucho más avanzadas en el ámbito de la medicina, como puede ser la creación de órganos virtuales que pueden servir de guía en operaciones.

En concreto la utilización de la realidad aumentada en museos tiene muchas ventajas. No sólo permite a los visitantes acceder a más conocimientos, sino que además les hace disfrutar mucho más de la visita, ya que es algo que atrae a la mayoría de las personas porque les hace sentirse dentro de la exposición del museo. Además, la inclusión de nuevas tecnologías en contextos no asociados a ellas, también favorece su desarrollo, con lo que los avances estarán asegurados, y con ello también el avance de la sociedad.

Teniendo esto en cuenta, nuestro objetivo en el desarrollo de RACMA era la

creación de una aplicación que permitiese a los visitantes del museo obtener información sobre un mapa mudo que a priori no podía aportar grandes conocimientos a los visitantes. Con ella además, buscábamos que las personas disfrutaran, que mientras aprendían, se sintieran satisfechos con su visita y en concreto, con lo expuesto en la sala del mapa mudo.

Conociendo el contexto del problema y los hándicaps de distancia e iluminación que se encuentran en esa sala, nuestro mayor trabajo era investigar las tecnologías que nos permitiesen abordar estos desafíos. Tras el trabajo realizado, podemos afirmar que Vuforia integrado en Unity3D es una gran elección como plataforma de desarrollo de aplicaciones de realidad aumentada. Es cierto que hemos tenido que dedicar buena parte del desarrollo a investigar y realizar pruebas con esta tecnología, pero creemos que ha merecido la pena tras el buen resultado obtenido.

Después de conocer el funcionamiento de la librería, empezamos a crear prototipos. Desde las primeras iteraciones en papel hasta las últimas, en las que la aplicación era un software funcional y palpable, tuvimos que tener en cuenta que nuestro proyecto era un proyecto real, en el que tuvimos que lidiar con un cliente, con el que hay que reunirse periódicamente. Durante las once iteraciones de la aplicación, pudimos observar que realmente los clientes son otro miembro más del equipo, al que hay que pedirle los materiales necesarios, que nos pide modificaciones inoportunos y que puede cambiar de opinión de un día para otro. También hemos aprendido a trabajar con dos diseñadores, a los cuales hay que darles un cierto grado de libertad dentro de unos determinados límites, sobretodo temporales. Quizás, el haber realizado un proyecto real en el que han participado personas no habituadas al mundo de las nuevas tecnologías, haya sido uno de los aspectos más importantes que hemos podido aprender durante este Trabajo de Fin de Grado, y que no hubiéramos podido aprender si el proyecto hubiese sido otro. Este aspecto también nos permite afirmar que el modelo de desarrollo elegido, el modelo ágil Scrum, ha sido una buena elección. Permitía mostrar al cliente en cada una de las reuniones que tuvimos, los avances de la aplicación de forma que podían hacer revisiones y sugerirnos cambios.

Durante las siete primeras iteraciones creadas nos hemos encontrado con los problemas típicos al empezar una aplicación desde cero. ¿Cómo realizamos el diseño de la interfaz? ¿Cómo implantamos las funcionalidades requeridas por el cliente? ¿Cómo vencemos los desafíos tecnológicos que nos encontramos en el museo? Podemos concluir que, mediante el proceso de pruebas, el proceso de diseño de prototipos y sobretodo mediante el trabajo conjunto de los dos integrantes del equipo pudimos satisfacer todas las necesidades y realizar una aplicación equilibrada:

- Cumple todos los requisitos pedidos por el cliente.
- Se adecuía a las restricciones de la tecnología venciendo estos hándicaps.
- Tiene un diseño de interfaz intuitivo y fácil de aprender, así como agradable y atractivo para el usuario.
- Cumple con los objetivos de una aplicación de estas características: permite a los usuarios aprender sobre lo expuesto en el museo, así como proporcionarle una buena experiencia.

Otra de las tareas más destacadas durante el proyecto ha sido la evaluación con usuarios, que aunque hemos tardado en realizarla más de un mes, nos ha servido para ver la importancia que tiene en el proceso de desarrollo de una aplicación. Gracias a estas evaluaciones fuimos capaces de ver fallos de funcionamiento y aspectos o conceptos que a un usuario final no le quedan claros, mientras que a nosotros, como desarrolladores, sí nos lo parecía en un principio. La etapa de evaluación es sin duda una de las más destacadas de nuestro proyecto, puesto que hemos podido observar el comportamiento que han tenido 40 personas utilizando RACMA, con lo que hemos podido solucionar fallos que no hubiéramos descubierto de otra manera.

El refinamiento de la aplicación en las cuatro últimas iteraciones también ha sido decisivo. Dos para solucionar los errores encontrados durante la evaluación y otras dos para refinar detalles que el cliente deprecia y corriendo nos propuso al final del proyecto. La posterior subida a Play Store de Google fue satisfactoria y con ello, esperamos que los visitantes al Museo de América se la descarguen y disfruten usándola.

Debemos destacar que no podíamos haberlo logrado sin el trabajo mutuo de los dos miembros del grupo. El trabajo ha sido totalmente equitativo e igualitario, no podemos decir que uno haya trabajado ni más ni menos que el otro, ya que ambos hemos participado en todas las etapas del proceso a partes iguales y todas las decisiones se han tomado conjuntamente. Los dos hemos realizado:

- Investigación y estudio de la tecnología.
- Realización de pruebas para toma de contacto con Vuforia y Unity3D.
- Realización de pruebas de distancias e iluminación.
- Diseño de prototipos en papel y reales.
- Generación de código y configuración del proyecto.
- Creación y edición de elementos visuales.

- Solución de errores y mejora de funcionalidades.
- Pruebas y visitas en el Museo de América.
- Evaluaciones con usuarios.
- Comunicación y reuniones con los clientes y colaboradores.
- Subida de versiones a Play Store.
- Creación de la presente memoria.

La realización de todas estas tareas conjuntamente y en paralelo ha sido una gran elección, ya que ambos conocíamos todos los aspectos del proyecto y podíamos seguir y avanzar independientemente el uno del otro si así lo necesitábamos. Además, así hemos podido aprender lo máximo posible de este Trabajo de Fin de Grado.

Finalmente, concluir que el desarrollo de RACMA ha sido muy satisfactorio y gratificante para nosotros, tanto a nivel académico como personal. Hemos aprendido muchísimo durante los 10 meses en los que hemos trabajado en ello, y hemos disfrutado conociendo nuevas tecnologías, desarrollando diseños e implementaciones, conociendo a nuestros clientes y ayudantes y sobretodo creando una aplicación real. Esperamos que los usuarios de la aplicación la disfruten igual que hemos disfrutado nosotros creándola.

## 7.2. Conclusions

As we have seen during the early stages of the project, the uses of augmented reality applications are endless and they can be applied in various social fields. For example, in entertainment (video games), in education or in medicine, as in the creation of virtual organs that can guide operations.

In particular the use of augmented reality in museums has many advantages. Not only it allows that visitors can access to more knowledge, but also makes them enjoy more of the visit, since it is something that appeals to most people because it makes them feel inside the museum exhibition. Furthermore, the inclusion of new technologies in contexts that are not associated with them, also favours development, so advances in technologies are insured, and thus also the advancement of society.

With this in mind, our goal in development of RACMA was to create an application that would allow museum visitors get information on a blank map that at first could not bring great knowledge to visitors. We wanted that people enjoy and that, while they were learning, they felt satisfied with

their visit and specifically with the exhibition in the hall of the blank map.

Knowing the context of the problem and the handicaps of distance and lighting that are in this room, our biggest job was to investigate technologies that would allow us to address these challenges. After work, we can say that Vuforia integrated with Unity3D is a great choice as a development platform for augmented reality applications. It is true that we had to spend much of time with the research and testing with this technology, but we believe it was worth it after the good result.

After knowing the functioning of the library, we started creating prototypes. Since the first iterations on paper until the last, in which the application was a functional and palpable software, we had to consider that our project was a real project, which had to deal with a client, with whom we must meet regularly. During the eleven iterations of the application, we found that customers are another member of the team, whom we must ask the necessary materials, who asks us inopportune modifications and that he can change his mind from one day to another. We have also learned to work with two designers, who must be given a certain degree of freedom with certain limits, specially temporal limits. Perhaps, the fact of working in a real project which involve people that are not accustomed to the world of new technologies, has been one of the most important things we have learned during this final project, and we could not have learned it if the project had been different. This aspect also allows us to confirm that the development model that we chose, the Scrum model, has been a good choice. It allowed us to show the progress of the application to the client in each of the meetings we had, so they could make revisions and suggest changes.

During the first seven iterations, we have found with the typical problems that you found when you start an application from scratch. How do we design the interface? How do we implement the functionalities that are required by the client? How do we overcome the technological challenges that we have in the museum? We can conclude that, thanks to the process of testing, to the process of prototype design and especially thanks to the joint work of the two team members we were able to satisfy all needs and make a balanced implementation:

- The application meets all the requirements requested by the client.
- It is adapted to the constraints of technology overcoming these handicaps.
- It has an intuitive design and an easy to learn, pleasant and attractive interface to the user.

- It meets the objectives of an AR application for museums: it allows users to learn about the museum exhibitions and provides a good experience.

Another of the most important tasks in this project has been evaluations with users, although we have been making them about more than a month, it has helped us to see the importance of the evaluations in the process of developing an application. Thanks to these evaluations we were able to see bugs and concepts that an user does not understand, while we, as developers, thought it was very clear. The evaluation stage is one of the most important phases of our project undoubtedly, because we have seen behaviour that 40 people had using RACMA, so we could fix bugs that we would not have discovered otherwise.

The refinement of the application in the last four iterations has also been decisive: two iterations to fix the errors found during the evaluations and two iterations to refine the details that client wanted to correct quickly at the end of the project. Later, we could upload the application to Google Play Store successfully and with it we hope that visitors to the Museo de América download RACMA and enjoy using it.

We must emphasize that we could not have done it without the mutual work of the two members. The work has been totally fair and equal, we can not say that one of us has worked less or more than the other, since both have participated in all stages of the process equally and all decisions are taken jointly. We have both made:

- Research and study of technology.
- Testing for learning how work Vuforia and Unity3D.
- Testing with distances and lighting.
- Paper prototyping and real prototyping.
- Code generation and project settings.
- Creation and editing of visual elements.
- Fixing of bugs and improvement of features.
- Tests and visits to the Museum of America.
- Evaluations with users.
- Communication and meetings with customers and partners.
- Upload of versions to Play Store.

- Creating this report.

The realization of these tasks jointly in parallel was a great choice because we both knew all aspects of the project and we could go on independently of each other if we needed that. Furthermore, we could learn as much as possible of this final project.

Finally, we have to conclude that the development of RACMA has been very satisfying and rewarding for us, academically and personally. We have learned a lot during the 10 months that we worked on it, and we have enjoyed knowing new technologies, developing designs and implementations, knowing our clients and helpers and especially creating a real application. We hope that the application users enjoy it as much as we have enjoyed creating it.

### 7.3. Repercusión del proyecto

Durante la realización de este proyecto nos hemos ido encontrando con el interés de algunas personas en conocer más sobre lo que estábamos realizando. Además, hemos escrito junto con Guillermo un artículo para un congreso. A continuación, detallamos estas líneas de repercusión:

- **Implantación en el Museo de América de Madrid:** la aplicación será instalada en el museo de América, por lo que cualquier persona que visite el museo podrá utilizarla. Además, dentro de la página web del museo tienen un apartado para publicitar nuestra aplicación. La dirección web es: Página web del Museo de América<sup>1</sup>
- **Entrevista para la cadena Ser:** entrevista junto con Andrés y Guillermo para un nuevo programa de la cadena Ser que empezará a emitirse todos los domingos a partir de Julio. En concreto, el programa en el que apareceremos se estrenará el 9 de Agosto de este año y tratará sobre las civilizaciones del Amazonas. Es en este programa donde hablamos nosotros porque con el uso de la realidad aumentada hemos facilitado el aprendizaje de estas culturas. Al terminar la entrevista, mostramos la aplicación a Jesús Pozo, periodista que nos ha entrevistado, quedándose bastante sorprendido con el uso de esta tecnología. Le gustó mucho y nos propuso comentárselo a Carles Francino, director del programa estrella de la cadena Ser: La ventana.
- **Posible proyecto con Juguetronica:** realizando las evaluaciones con usuarios, Marta conoció a un chico, Patrik Petöcz (Departamento online de Juguetrónica S.L.) que se mostró muy interesado en nuestra

---

<sup>1</sup><http://www.mecd.gob.es/museodeamerica/espacio-interactivo/Tanto-que-disfrutar-jugando---/RACMA.html>

aplicación y le comentó a Marta que estarían interesados en realizar algo muy similar en su museo. Le dio su tarjeta y nos pusimos en contacto con ellos a través del correo electrónico para ver sus necesidades. En la actualidad nos encontramos intentando realizar un presupuesto, ya que en principio parece que el proyecto sigue adelante.

- **Página web Datos.gob.es<sup>2</sup>** nuestra aplicación es publicada en la sección de aplicaciones del portal nacional de Open Data ya que utilizamos información pública de un museo perteneciente al Gobierno de España.
- **Artículo para un congreso en Barcelona (CoSeCiVi'15)**: elaboramos conjuntamente con nuestro director de proyecto un artículo para el II Congreso de la Sociedad Española para las Ciencias del Videojuego que tendrá lugar el 24 de Junio en Barcelona. Finalmente, el 11 de Junio, nos comunican que el artículo ha sido aceptado para la presentación en el congreso.

## 7.4. Líneas de trabajo futuras

Nuestro proyecto ha consistido en buena parte en la realización de una investigación profunda, puesto que es una tecnología nueva, poco conocida y que además se iba a utilizar en un entorno no favorable por las restricciones que impone Vuforia. Quizá esa haya sido la mayor causa de que haya quedado trabajo por realizar ya que no hemos podido ponernos directamente a diseñar e implementar la aplicación. También hay que tener en cuenta que es un proyecto real, por lo que dependíamos en gran medida del trabajo de nuestros clientes. Un retraso suyo provocaba un retraso nuestro.

Aun así, el proyecto ha dado lugar a una aplicación completa y cerrada, siendo las líneas de futuro ampliaciones de contenido y funcionalidades, además de arreglos de bugs por incompatibilidad de la librería con versiones de Android.

En los siguientes puntos, numeramos los posibles cambios y aumento de funcionalidades, muchas de las cuáles no eran primordiales para el cliente, por lo que por anteponer otros cambios a éstos, no hemos tenido tiempo de añadirlas. Son las siguientes:

1. Incorporar más áreas culturales, junto con una cultura destacada y su personaje en tres dimensiones.
2. Adaptar e integrar la aplicación a la última versión de Vuforia para

---

<sup>2</sup><http://datos.gob.es/content/racma>



- aprovechar nuevas funcionalidades, como detección de objetos en tres dimensiones.
3. Solucionar los problemas de compatibilidad de Vuforia con las versiones de Android más modernas.
  4. Incorporar más idiomas además de castellano e inglés ya que la aplicación está preparada para incorporar cuantos idiomas se quieran.
  5. La generación de versiones para otros sistemas operativos móviles como iOS y Windows Phone, entre otros.
  6. Incluir animaciones de los personajes andando en el mapa del museo.
  7. Incluir algún tipo de interacción tal y como pensamos al inicio del proyecto:
    - a) Creación de funcionalidad para que el usuario pueda coger un muñeco y llevarlo a otro sitio del mapa. El muñeco podría entonces volver a su lugar correcto. Esto es factible sobretodo en el mapa en papel, ya que en el mapa del museo tenemos hándicaps de distancia e iluminación.
    - b) Creación de algún tipo de juego, como un trivial de preguntas que los personajes pueden realizar a los usuarios. En este punto también habría que estudiar si es bien recibido en todos los usuarios más mayores.
  8. Solucionar el problema de la salida de la aplicación que creemos que puede ser algún llenado de memoria.
  9. Creación de nuevos layouts para tablets con el objetivo de llegar a un mayor número de clientes.
  10. Incluir una pantalla Splash Screen cuando podamos acceder a Unity Android Pro.
  11. Determinar si es necesario incluir una funcionalidad para compartir información de la aplicación por redes sociales como whatsapp o correo electrónico. En el caso de que lo viéramos necesario, incluirlo.
  12. Permitir autorrotación en la aplicación.
  13. Permitir que el usuario pueda hacer zoom con lo dedos en las imágenes ampliadas de la galería.
  14. Creación de una nueva funcionalidad que permita ver el progreso de las culturas a lo largo del tiempo.

Como se puede observar de estas líneas de trabajo futuro, estos cambios y ampliaciones mejorarían la aplicación y creemos que serían interesantes tanto para los usuarios que adquieran la aplicación, como para la futura investigación en aplicaciones de realidad aumentada.

## Capítulo 8

# Organización del trabajo y aportaciones.

### 8.1. Organización del equipo

Siempre hemos procurado ir trabajando en paralelo para evitar trabajar los dos en lo mismo a la vez y tener los dos un amplio conocimiento de cómo funciona la aplicación y de cómo estaba implementada. Para ello, mientras uno trabajaba en la aplicación, el otro lo hacía en la memoria, investigaba soluciones a problemas que teníamos o escribía los correos necesarios para ver las tareas pendientes que teníamos con el cliente.

#### 8.1.1. Modelo de desarrollo usado

Como modelo de desarrollo usado hemos empleado el **Scrum** que es un modelo de desarrollo ágil en el que se van realizando continuamente pequeñas entregas de productos tangibles. Se comienza con la visión general de lo que se desea obtener, y a partir de ella se especifica y da detalle a las partes de mayor prioridad, y que se desean tener cuanto antes. Cada ciclo de desarrollo o iteración (sprint) finaliza con la entrega de una parte operativa del producto (incremento). La duración de cada sprint puede ser desde una, hasta seis semanas, aunque se recomienda que no excedan de un mes. En Scrum, el equipo monitoriza la evolución de cada sprint en reuniones breves donde se revisa en conjunto el trabajo realizado por cada miembro en el periodo anterior, y el previsto para el siguiente periodo en curso. Palacio (2014).

Siguiendo de esta forma el modelo Scrum, realizamos diferentes prototipos

y versiones, en cada una de las cuales fuimos incorporando mejoras, siempre terminando cada uno de estos prototipos con versiones utilizables, primeramente con versiones simples, llegando después a aplicaciones complejas y con funcionalidades varias. Todo esto realizándose con la supervisión de nuestro director de proyecto y las personas que trabajaban con nosotros en el museo, en cuyas reuniones repasábamos lo realizado, lo mejorable y lo que se necesitaba incorporar en la aplicación. Fue sin duda una buena elección de modelo de desarrollo porque nos permitió ver en seguida, tanto a nosotros como a nuestros clientes, lo que teníamos hasta el momento y lo que queríamos que tuviese la versión final.

### 8.1.2. Herramientas de comunicación

Para el desarrollo de la aplicación y mantener versiones de código estables del mismo en un lugar seguro, usábamos un servidor de subversion en Assembla (Assembla (2015)) donde los dos teníamos un usuario y subíamos nuestras versiones. Para hacer interacción con el servidor decidimos usar la herramienta Tortoise SVN para Windows ya que ambos trabajamos sobre este sistema operativo y porque creemos que es la herramienta más potente y fácil para usar un servidor de subversion con el sistema operativo de Microsoft.

Para la comunicación y compartición de archivos entre nosotros, con nuestro director de proyecto y con los clientes del museo utilizamos varias herramientas:

- **Gmail**, para la comunicación asidua entre todas las personas que han participado en el proyecto (desarrolladores, clientes y ayudantes gráficos).
- **Google Drive**, para compartir todo tipo de archivos necesarios para el desarrollo del proyecto: imágenes, documentación, enlaces, apuntes, modelos, etc. Esta herramienta fue usada principalmente para compartir entre los desarrolladores.
- **Dropbox**, donde teníamos una carpeta compartida donde los clientes subieron las imágenes e información que querían que incluyéramos en la aplicación.
- **Whatsapp**, para comunicarnos rápidamente entre nosotros dos y hablar y consensuar ideas.
- **Skype**, para comunicación puntual en la que ambos miembros del equipo necesitábamos ver detalles en una misma vista de Unity.

### 8.1.3. Herramientas de edición gráfica

Nuestra aplicación tiene una interfaz sencilla pero tiene bastantes elementos que necesitábamos que destacaran. De ahí que nos fuese de gran ayuda el trabajo de los diseñadores que trabajaron con nosotros. Sin embargo, nosotros también tuvimos que trabajar en el diseño gráfico, puesto que nuestro ayudante de elementos 2D sólo trabajó con nosotros un par de meses. El resto del tiempo, fuimos nosotros los que buscamos imágenes e iconos para editarlos y añadirlos a la interfaz. Las tres herramientas que hemos usado para esto han sido principalmente Photoshop CS6, y en menor medida GIMP versión 2.8.14. y Paint.

## 8.2. Aportaciones al proyecto

Ambos componentes del grupo hemos ido realizando aproximadamente las mismas actividades sin tener claramente una división debido a que creíamos oportuno que ambos tuviéramos contacto con cada una de las partes de la aplicación. De este modo mejoramos nuestros conocimientos sobre esta tecnología y sus entornos de trabajo. Además, la opinión y el trabajo de dos personas en una misma tarea siempre es más enriquecedora para el resultado del trabajo, ya que hay más ideas donde elegir.

Nuestra división de trabajo era la realización de una tarea uno, y de otra, otro, de forma que a continuación intercambiábamos los papeles. Por ejemplo, mientras David realizaba un cambio en el código, Marta mandaba correos a nuestros clientes, investigaba sobre problemas que teníamos en ese momento en la aplicación o realizaba pruebas. Al día siguiente era Marta la que modificaba el código y David el que hacía las otras tareas. Nosotros estamos satisfechos con esta organización, ya que así hemos podido aprender los dos lo máximo posible y hemos obtenido un resultado consensuado y equilibrado.

A continuación, pasamos a enumerar las tareas que ha realizado cada uno de los miembros del equipo.

### 8.2.1. David Hernando Hernández

Mi trabajo ha consistido en la realización y participación en cada una de las etapas del desarrollo del proyecto. Al ser el reparto de tareas y la organización del equipo tal y como hemos comentado en los párrafos anteriores, he podido aprender y desarrollar todos los aspectos de la aplicación, y conocer cada una de las funcionalidades que hemos creado en la aplicación.

A continuación, paso a comentar y enumerar las tareas realizadas:

- Lectura y búsqueda en artículos, libros y páginas web sobre el uso de la realidad aumentada hoy en día para poder obtener el estado del arte.
- Autoaprendizaje e investigación con una tecnología nueva para nosotros como es la realidad aumentada de la cual no ves nada durante la carrera.
- Realización de tutoriales en Unity3D para obtener más conocimientos sobre el entorno de desarrollo y saber cómo funciona y organiza. Además he realizado tutoriales con Vuforia sobre Unity para aprender a usar tecnología y entorno juntos.
- Realización de prototipos en papel para enseñarlos al cliente. En concreto, durante las primeras iteraciones de la aplicación que es cuando realizábamos los prototipos separados el uno del otro, realicé los siguientes:
  - En la iteración 1, la opción 3. Figura A.6.
  - En la iteración 2, el prototipo 1 y 3. Figuras 4.10 y 4.12.
- Realización de prototipos en Unity3D empleando todas las piezas de las que se compone un proyecto (Escenas, GameObjects, componentes, etc.). En concreto, realicé el siguiente prototipo:
  - En la iteración 3, el prototipo basado en botones que después usaríamos como base. Figuras 4.19, 4.21, 4.20, 4.22 y 4.23.
- Realización de pruebas tanto fuera como dentro del museo para poder saber aproximadamente la relación entre la distancia al marcador y el tamaño del mismo.
- Generación de todas las iteraciones de la aplicación y toma de decisiones, junto con Marta, realizando cambios y solucionando errores encontrados durante el proceso.
- Comunicación asidua con Beatriz, Andrés y Guillermo a través de correo electrónico para consensuar cambios.
- Asistencia a las reuniones con nuestros clientes al Museo de América para aclarar ideas y dudas, así como para mostrarles nuestros avances en la aplicación.
- Participación en la creación del plan de evaluación de la aplicación y de los cuestionarios que los usuarios debían realizar en ella.
- Evaluaciones con usuarios y la correspondiente interpretación de los resultados. Realicé un total de 16 evaluaciones con usuarios, de las cuales

2 fueron en el museo, y el resto en casa. De estas 16 evaluaciones, 4 fueron realizadas junto con Marta, mientras que el resto fueron realizadas por mí solo. En consecuencia, produje gran cantidad de documentación gracias a las notas tomadas durante la evaluación.

- Posterior realización de cambios acordados tras las evaluaciones.
- Realización de los cambios generados en las iteraciones décima y undécima de la aplicación, con la aprobación de los clientes y de mi compañera.
- Creación de la funcionalidad y la estructura de carpetas de los recursos de la aplicación para hacer más escalable la aplicación y poder incluir idiomas. Esta es la funcionalidad que he creado independientemente de Marta.
- Creación de la imagen Splash Screen, que después no se podría incluir y que dejamos como trabajo futuro.
- Creación de demos para la versión en casa y subida de todas las demos realizadas a Youtube.
- Realización de la mayor parte de las ediciones gráficas de la aplicación gracias a Photoshop: cambios en la infografías, edición de fondos y botones, creación de los mapas de las áreas culturales, creación de títulos, etc.
- Escritura en todos los apartados de la memoria y revisión de contenidos de la misma.
- Subida de algunas versiones beta de la aplicación a la Google Play.

### 8.2.2. Marta Caro Martínez

Al igual que David, he participado en todas las etapas de desarrollo del proyecto, de forma que los conocimientos adquiridos y la carga de trabajo han sido iguales para los dos. A continuación, comento las tareas que he realizado durante el proyecto:

- Investigación y adquisición de conocimientos sobre qué es la realidad aumentada y cómo funciona, con el fin de conocer la tecnología con la íbamos a trabajar durante el desarrollo del proyecto.
- Búsqueda de información y tutoriales de Unity3D y la librería de realidad aumentada Vuforia, antes de la creación de RACMA. Esta etapa fue una etapa de aprendizaje autodidacta, en el que tanto David como

yo realizamos una búsqueda de este tipo de información y luego lo pusimos en común con el fin de aprender a realizar proyectos y aplicaciones pequeñas con estos entornos de programación.

- Creación y desarrollo de aplicaciones básicas en Unity mediante los tutoriales y la información encontrada en la etapa anterior, así como de aplicaciones básicas con Vuforia para Android. La realización de estas aplicaciones fue totalmente nueva para nosotros, en concreto yo no tuve ninguna asignatura en la que utilizase o aprendiese Unity3D ni C#, y menos sobre Vuforia o algo de realidad aumentada. Las aplicaciones creadas como toma de contacto con Vuforia fueron de varios tipos, ya que en ese momento no sabíamos qué tipo de marcador íbamos a usar:
  - Realización de aplicaciones de RA básicas, cuyo marcador era un código QR.
  - Aplicaciones básicas con una imagen como marcador.
  - Aplicaciones básicas con un cubo como marcador.
  - Aplicaciones con un texto como marcador.
  - Aplicaciones con un cilindro como marcador.
- Creación de diversos prototipos en papel y en software, generando ideas para la creación de funcionalidades y de ordenación de la interfaz, así como de elementos en la escena. A continuación, enumero cuáles son los prototipos desarrollados por mí en las primeras iteraciones de la aplicación, en las cuales realizamos prototipos por separado para no influenciarnos el uno al otro:
  - Opciones 1 y 2 de la iteración 1. Figuras A.1, A.2, A.3, A.4 y A.5.
  - Prototipos 2 y 4 de la iteración 2. Figuras 4.11 y 4.13.
  - Prototipo basado en el menú desplegable de la iteración 3. Figuras 4.24, 4.25, 4.26 y 4.27.
- Toma de decisiones junto con David con respecto a todos los aspectos de desarrollo de la aplicación: modelo de desarrollo a usar, división del trabajo, creación de elementos y funcionalidades en la aplicación, corrección de errores, cambios de diseño de la interfaz, etc.
- Asistencia a todas las reuniones con clientes y con nuestro director del proyecto, con el fin de resolver las dudas a Andrés y Beatriz, y escuchar sus opiniones, dudas y propuestas.
- Comunicación asidua vía correo electrónico con los clientes, respondiendo a todo tipo de cuestiones que les surgía, o pidiendo recursos que necesitábamos para el desarrollo del proyecto.



- A partir de la iteración 3, creación y desarrollo de código en todas las ventanas de la aplicación: creando botones, incluyendo fondos, imágenes, textos, títulos y participando activamente en el diseño de la interfaz.
- Debido al hándicap tan alto que teníamos con respecto a la distancia y a la iluminación, necesitamos hacer pruebas para saber cómo resolver estos problemas. Realicé multitud de pruebas de estas características, especialmente de distancia, tanto con marcadores pequeños como grandes y desde distancias cortas y largas. Las pruebas se realizaron tanto en casa como en el museo, dónde íbamos todos los jueves con nuestros portátiles a trabajar para el desarrollo de la escena de la opción de RA en el museo.
- Creación de multitud de demos y capturas de pantalla, especialmente en el museo, ya que el Nexus de David no funcionaba allí, y por tanto no podía realizar esta tarea.
- Intento de incluir una imagen Splash Screen en la aplicación. Tras la investigación, descubrí que no era posible.
- Realización de alguna edición gráfica con GIMP y Paint.
- Creación de las animaciones de la aplicación. Esta es la única funcionalidad que he creado yo sola.
- Creación del plan de evaluación, de las tareas a realizar por los usuarios y de los cuestionarios que debían rellenar. Realización de un total de 28 evaluaciones con usuarios, de las cuales 4 fueron realizadas junto con David. El resto fueron realizadas sólo por mí. De esas 28, 6 fueron realizadas en el museo de América y el resto en casa. Para cada una de las evaluaciones, generé un informe de mínimo dos páginas.
- Realización de informes de resultados globales y cambios en la aplicación tras las evaluaciones. Participación en los procesos de cambios establecidos.
- Creación de cuenta de desarrollador en Play Store, configuración del proyecto para subir la aplicación a la tienda, configuración de la cuenta, creación de la ficha visible en la tienda, categorización de la aplicación y subida de versiones beta a la cuenta. Creación y gestión del grupo de testing de la aplicación por parte de los clientes. Subida de la aplicación a producción.
- Creación de esta memoria y escritura en todos los capítulos de la misma. Repaso final y lectura de todo el documento, incluyendo todos los aspectos que aún no estaban incluidos en ella.

En mi opinión ha sido un trabajo equitativo e igualitario. Estoy contenta con el resultado que hemos obtenido y con el proyecto realizado.

## Parte II

# Apéndices



## Apéndice A

# Prototipos diseñados en iteraciones iniciales de la aplicación

### A.1. Prototipos de la primera iteración



Figura A.1: Pantalla inicial (opción 1)

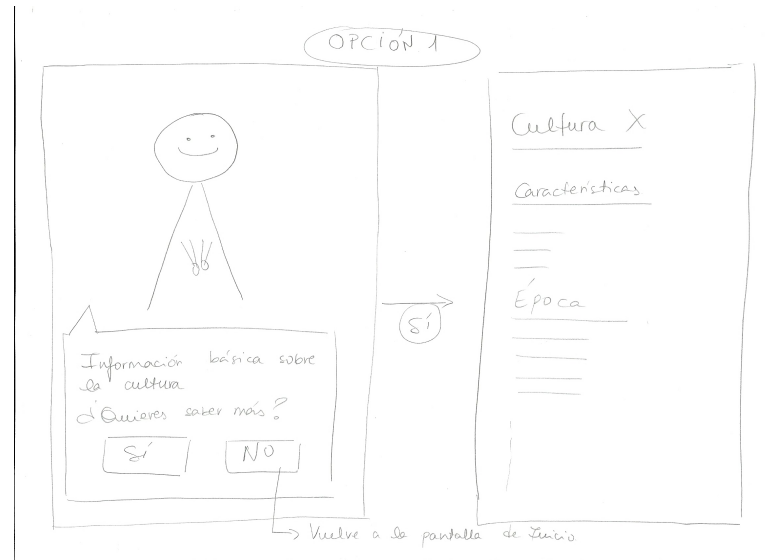


Figura A.2: Prototipo muestra de características del área cultural (opción 1)

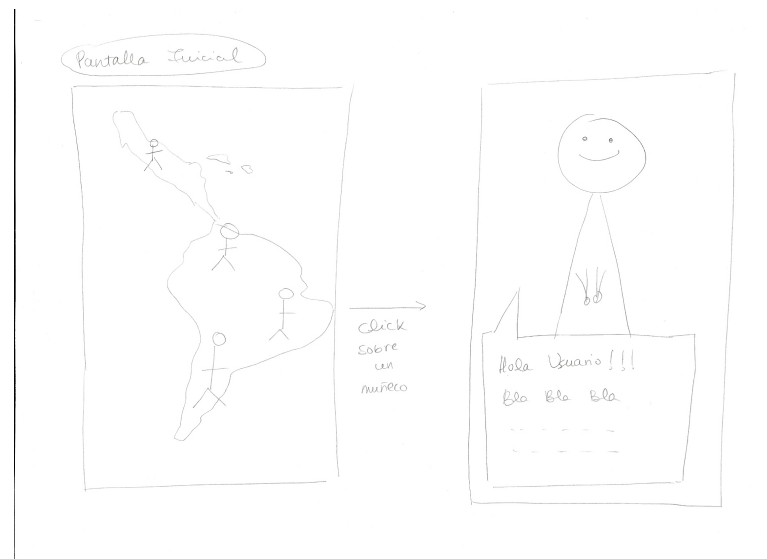


Figura A.3: Prototipo de pantalla inicial (opción 2)



Figura A.4: Prototipo “Arrastrar muñeco” opción 2



Figura A.5: Funcionalidad, el muñeco vuelve a su lugar (opción 2)



Figura A.6: Prototipo idea mapa (opción 3)



## A.2. Prototipos de los cambios realizados en la quinta iteración

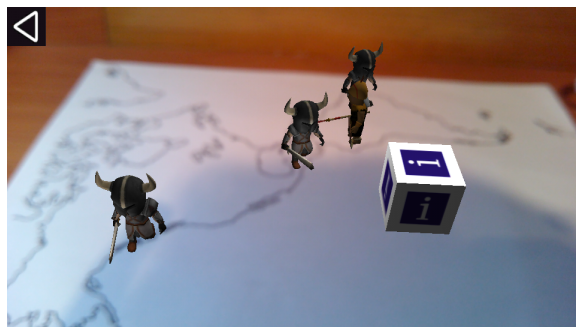


Figura A.7: Imagen de lo que se ve a través de la cámara del móvil desde casa



Figura A.8: Vista de la galería de imágenes (izq.) y de una imagen ampliada (dcha.)



Figura A.9: Ventana del área cultural (izq.) y de la cultura principal (dcha.)



Figura A.10: Infografías de ayuda para usar la app en el museo (izq.) y desde casa (dcha.)



Figura A.11: Ventana de información del museo

## Apéndice B

# Respuestas de las encuestas en la evaluación con usuarios

### B.1. Encuesta inicial de conocimiento del usuario

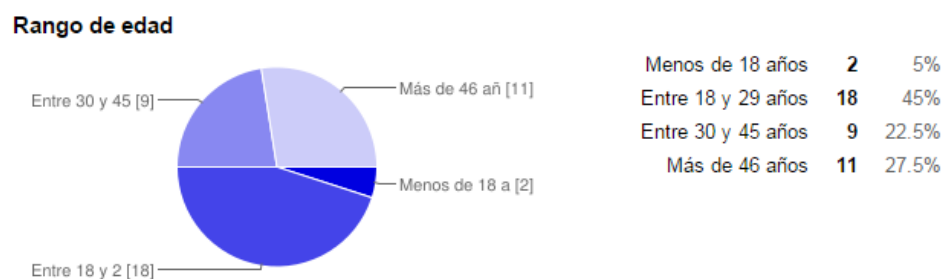


Figura B.1: Rango de edad



Figura B.2: Asiduidad a museos

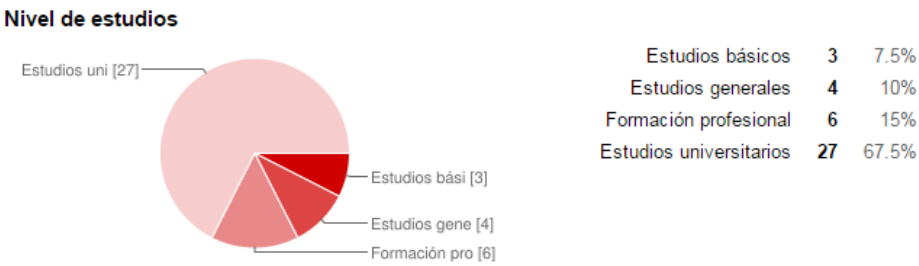


Figura B.3: Nivel de estudios

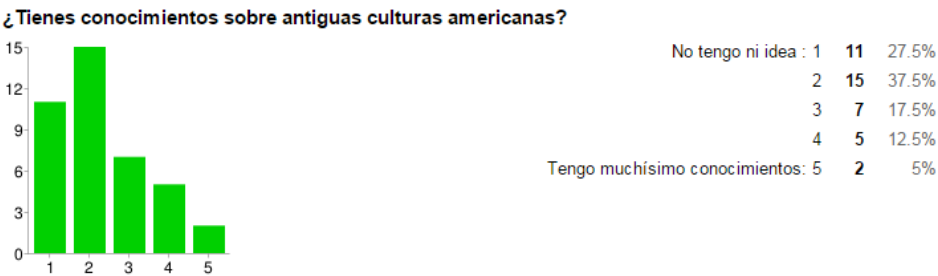


Figura B.4: Conocimientos sobre culturas americanas

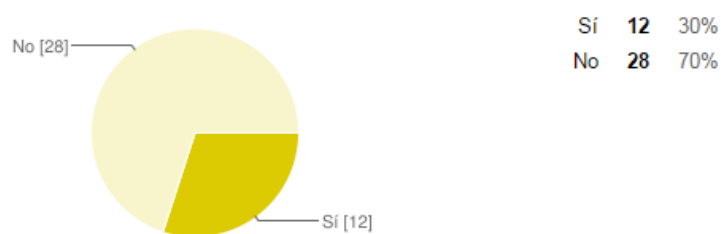
**¿Has usado alguna vez una aplicación de Realidad Aumentada?**

Figura B.5: Uso de aplicaciones de RA

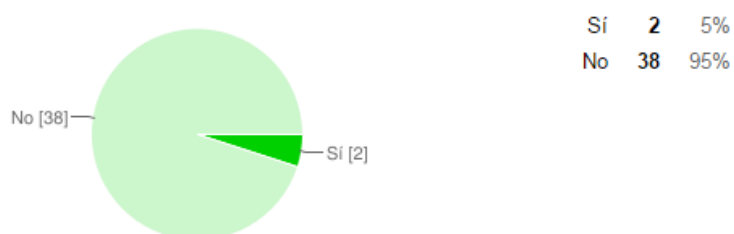
**¿Has usado alguna vez una aplicación de Realidad Aumentada en un museo?**

Figura B.6: Uso de RA en museos

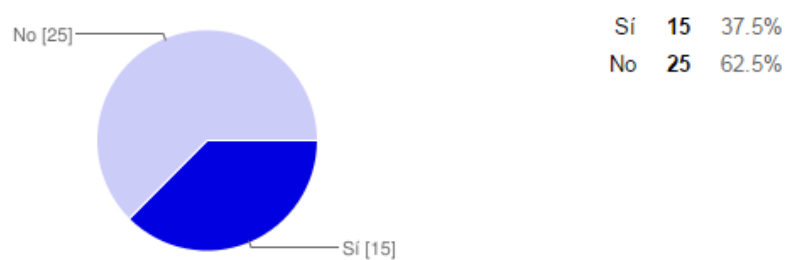
**¿Tu profesión está orientada al mundo de las nuevas tecnologías?**

Figura B.7: Profesión de los participantes

B.2. Encuesta de valoración de las tareas de la aplicación y sugerencias

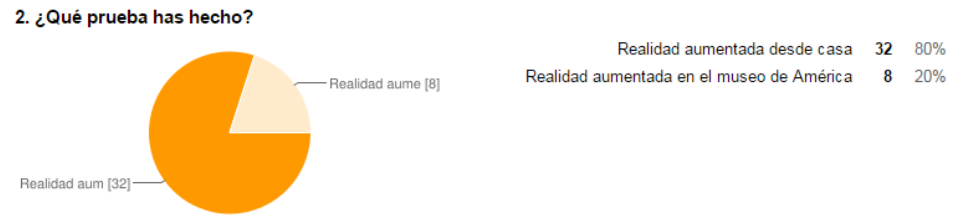


Figura B.8: Prueba realizada

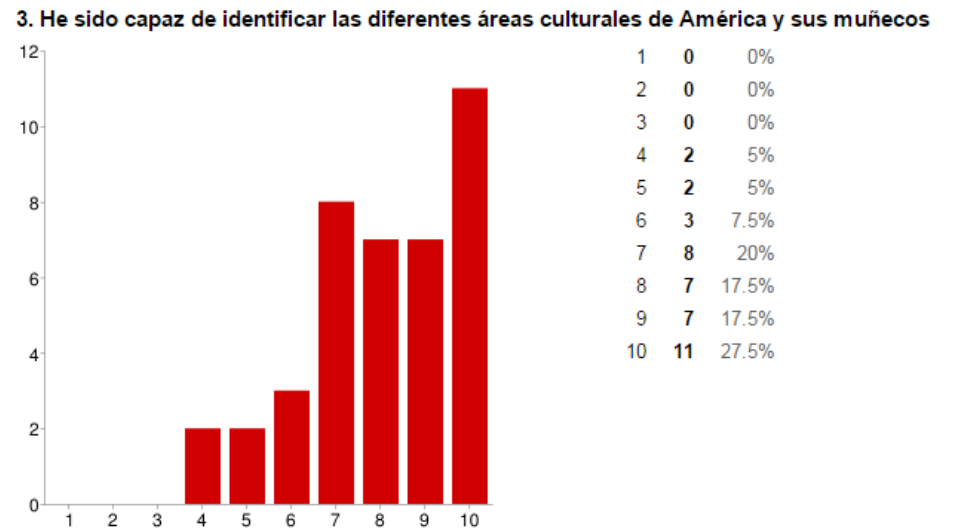


Figura B.9: Identificación de áreas culturales

**13. ¿Qué es lo que más te ha gustado de la aplicación?**

El diseño de los personajes y cómo está estructurada la aplicación.
Que es muy creativa y atractiva para buscar y encontrar información sobre objetos y sobre las culturas.
El diseño y la brevedad de contenidos
Poder visualizar los objetos materiales de las culturas principales de una manera interactiva y desde casa.
Los muñequitos y sus animaciones
Los muñequitos. Divertida de usar.
Los muñecos, la rapidez de la aplicación, el registro fácil de las imágenes.

Figura B.10: Características más valoradas

**14. ¿Y lo que menos?**

hay pocas culturas, es difícil distinguir entre area y cultura...
La falta de transiciones. Lo brusco que es el cambio entre pantallas.
Que solo haya cuatro muñecos
Se ha salido sola la aplicación.
Las pantallas de zona y cultura podían quizás tener un diseño más bonito
Quizás faltaría algún audio o vídeo
- Las imágenes deformadas de algunas piezas. - La falta de definición de algunas imágenes.

Figura B.11: Características menos valoradas





# Bibliografía

DE AMÉRICA, M. Apps del museo de américa de madrid. Disponible en <http://www.mecd.gob.es/museodeamerica/espacio-interactivo/tanto-que-ver/Apps-en-el-Museo.html>.

ANASTASSIA ANGELOPOULOU, V. B. A. P. L. J. C. P., DAPHNE ECONOMOU y KOLYDA, F. Mobile augmented reality for cultural heritage. 2012.

ARPA. Web oficial de arpa. Disponible en <http://www.arpa-solutions.net/es>.

ARTOOLKIT. Web oficial de artoolkit. Disponible en <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>.

ASSEMBLA. Web oficial de assembla. Disponible en [www.assembla.com/](http://www.assembla.com/).

BROTHERS y LTD, S. C. Streetmuseum. Disponible en <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.streetmuseum>.

CRISTINA MANRESA YEE, R. M. S., MARÍA JOSÉ ABÁSOLO y VÉNERE, M. Realidad virtual y realidad aumentada. interfaces avanzadas. Disponible en [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/18399/Documento\\_completo\\_.pdf?sequence=1](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/18399/Documento_completo_.pdf?sequence=1).

DEVS, S. M. Sky map. Disponible en <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.android.stardroid&hl=es>.

DOMHAN, T. Andar model viewer en play store de google. Disponible en <https://play.google.com/store/apps/details?id=edu.dhbw.andarmodelviewer&hl=es>.

FOUNDATION, W. Realidad aumentada, concepto. Disponible en [http://es.wikipedia.org/wiki/Realidad\\_aumentada](http://es.wikipedia.org/wiki/Realidad_aumentada).

GMBH, W. Wikitude en play store de google. Disponible en <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.wikitude&hl=es>.

- GOOGLE. Google glass de google. Disponible en <https://developers.google.com/glass/design/principles>.
- GRATIS, W. F. O. Tutorial vuforia: Crear aplicacion de realidad aumentada. Disponible en <http://www.formaciononlinegratis.net/aplicacion-de-realidad-aumentada-android-vuforia/>.
- INDEX, A. D. Chrome desbanca a explorer como el navegador más usado de internet. Disponible en <http://www.eleconomista.es/interstitial/volver/256320622/tecnologia/noticias/5847160/06/14/Chrome-desbanca-a-Explorer-como-el-navegador-mas-usado.html#.Kku8Cl5EaZEtlKI>.
- JISC. Jisc brings new augmented reality experiences for fe at aoc. Disponible en <http://www.jisc.ac.uk/news/jisc-brings-new-augmented-reality-experiences-for-fe-at-aoc-18-nov-2014>.
- JULIE CARMIGNIANI, M. A. P. C. E. D., BORKO FURHT y IVKOVIC, M. Augmented reality technologies, systems and applications. 2010.
- LAYAR. Layar en play store de google. Disponible en <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.layar&hl=es>.
- LAYAR. Web oficial de layar. Disponible en <https://www.layar.com>.
- MADFIRM. Sky siege en play store de google. Disponible en <https://play.google.com/store/apps/details?id=madfirm.skysiege&hl=es>.
- MENDOZA MÉNDEZ, M., MELGAREJO BARBUDO, L. y ROMERO RÍOS, M. Realidad aumentada dispositivos móviles. Disponible en <http://es.scribd.com/doc/191211062/Realidad-Aumentada>.
- MESCH. Ra en el museo de allard pierson. Disponible en <http://mesch-project.eu/using-augmented-reality-in-the-museum/>.
- METAIO. Web oficial de metaio. Disponible en <http://www.es.metaio.com/>.
- MISTRY, P. Web oficial de sixthsense. Disponible en <https://play.google.com/store/apps/details?id=net.android.carxare&hl=es>.
- MIXARE. Web oficial de mixare. Disponible en <http://www.mixare.org>.
- PACHE, L. G. Realidad aumentada, interacción persona-ordenador. Disponible en [http://www.fiwiki.org/images/f/fe/Realidad\\_Aumentada.pdf](http://www.fiwiki.org/images/f/fe/Realidad_Aumentada.pdf).
- PACHECO, J. C. R. Cómo convertir una imagen a escala de grises. Disponible en <https://msdn.microsoft.com/es-es/library/dn602526.aspx>.

- PALACIO, J. Gestión de proyectos scrum manager. Disponible en [http://www.scrummanager.net/files/sm\\_proyecto.pdf](http://www.scrummanager.net/files/sm_proyecto.pdf).
- PCCOMPONENTES. Características técnicas doogee valencia dg800. Disponible en [http://www.pccomponentes.com/doogee\\_valencia\\_dg800\\_azul\\_claro\\_libre.html](http://www.pccomponentes.com/doogee_valencia_dg800_azul_claro_libre.html).
- PUNCH, P. Paparazzi en play store de google. Disponible en <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.pixelpunch.paparazzi&hl=es>.
- SAURO, J. Measuring usability with the system usability scale (sus). Disponible en <http://www.measuringu.com/sus.php>.
- SOFTWARE, H. L. Car finder en play store de google. Disponible en <https://play.google.com/store/apps/details?id=net.android.carxare&hl=es>.
- THORN, A. Unity 4 fundamentals: Get started at making games with unity. Disponible en <https://books.google.es/books?id=i9JJAgAAQBAJ&pg=PA23&dq=scenes+unity&hl=es&sa=X&ved=0CCkQ6AEwAwOVChMI37K1lY2KxgIVS1YUCh1SfQCh#v=onepage&q=scenes%20unity&f=false>.
- DE TORONTO, M. R. O. Rom ultimate dinosaurs. Disponible en <https://itunes.apple.com/ca/app/rom-ultimate-dinosaurs/id531428685?mt=8&ls=1>.
- TOTAL IMMERSION, C. Web oficial de total immersion. Disponible en <http://www.t-immersion.com/>.
- VEENHOF, S. Exposición de ra en el moma de nueva york. Disponible en <http://www.sndrv.nl/moma/>.
- VEGAS, E. Tutorial básico de realidad aumentada con unity. Disponible en <http://emiliusvgs.com/2014/09/06/tutorial-basico-realidad-aumentada-unity/>.
- VIDEOJUEGOS, H. Creación de un juego de ra para android con vuforia. Disponible en [https://www.youtube.com/playlist?list=PLREdURb87ks1Jz0KKmv05rUPQEeHw2Vh4&annotation\\_id=annotation\\_488708&src\\_vid=tuByRWTvmQI&feature=iv&app=desktop](https://www.youtube.com/playlist?list=PLREdURb87ks1Jz0KKmv05rUPQEeHw2Vh4&annotation_id=annotation_488708&src_vid=tuByRWTvmQI&feature=iv&app=desktop).
- VUFORIA. Creación de aplicaciones de ra: multitargets. Disponible en <http://developer.vuforia.com/library/articles/Training/Multi-Target-Guide>.
- VUFORIA. Documentación oficial de vuforia. Disponible en <https://developer.vuforia.com/library/all-articles>.

VUFORIA. Target manager de vuforia. Disponible en <https://developer.vuforia.com/target-manager>.

VUFORIA. Web oficial de vuforia. Disponible en <https://developer.vuforia.com>.



